

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,  
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.  
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .  
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.  
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

А.Е. Титур

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ  
И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И ВОДОУТВЕДЕНИЯ**

Рецензенты

Зав. кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» Казанской государственной архитектурно-строительной академии, д-р техн. наук, проф.

*А.Б. Адельшин*

Зав. лабораторией подготовки нефти комплексной лаборатории научного сопровождения производства АО «Удмуртнефть», канд. техн. наук

*В.Х. Шаймарданов*

Зав. кафедрой «Природопользование и экологическое картографирование» УдГУ, д-р геогр. наук, проф.

*В.И. Стурман*

**Татура А.Е.**

**Т23** Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения: Учеб. пособие. – Ижевск: Издательство ИжГТУ, 2003. – 178 с.: ил.

ISBN 5–7526–0165–7

Учебное пособие предназначено для студентов, преподавателей, а также инженерно-технических работников, занятых исследованием, проектированием, расчетом, проектированием и эксплуатацией объектов водоснабжения и водоотведения. Оно включает сведения о приемах реконструкции и интенсификации работы систем и отдельных сооружений водоснабжения и водоотведения.

Пособие может быть использовано студентами и преподавателями при изучении дисциплины «Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Введение</b> .....                                                                            | 5   |
| <b>1. Реконструкция систем водоснабжения</b> .....                                               | 7   |
| 1.1. Реконструкция водозаборных сооружений подземных вод.....                                    | 8   |
| 1.1.1. Основные причины ухудшения работы скважин.....                                            | 8   |
| 1.1.2. Методы диагностики и обследования скважин.....                                            | 10  |
| 1.1.3. Восстановление дебита скважины.....                                                       | 13  |
| 1.2. Реконструкция водозаборных сооружений из открытых источников.....                           | 21  |
| 1.3. Реконструкция насосных станций.....                                                         | 24  |
| 1.3.1. Реконструкция насосных станций I подъема.....                                             | 24  |
| 1.3.2. Реконструкция насосных станций II подъема.....                                            | 26  |
| 1.4. Реконструкция водоводов и водопроводных сетей.....                                          | 29  |
| 1.4.1. Определение гидравлических сопротивлений водопроводных линий и способы их уменьшения..... | 30  |
| 1.4.2. Манометрическая съемка водопроводной сети.....                                            | 33  |
| 1.4.3. Повышение пропускной способности и надежности работы водоводов.....                       | 37  |
| 1.4.4. Восстановление пропускной способности водопроводных и канализационных трубопроводов.....  | 42  |
| 1.5. Реконструкция очистных сооружений природных вод.....                                        | 47  |
| 1.5.1. Новые схемы очистки природных вод.....                                                    | 48  |
| 1.5.2. Реагентное хозяйство.....                                                                 | 61  |
| 1.5.3. Смешение реагентов с водой.....                                                           | 66  |
| 1.5.4. Камеры хлопьеобразования.....                                                             | 70  |
| 1.5.5. Отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка.....                                 | 74  |
| 1.5.6. Обработка воды флотацией.....                                                             | 77  |
| 1.5.7. Фильтровальные сооружения.....                                                            | 79  |
| 1.5.8. Обеззараживание природных вод.....                                                        | 90  |
| 1.6. Реконструкция водонапорных башен и резервуаров.....                                         | 93  |
| Контрольные вопросы.....                                                                         | 96  |
| <b>2. Реконструкция систем водоотведения</b> .....                                               | 97  |
| 2.1. Реконструкция насосных станций сточных вод.....                                             | 97  |
| 2.2. Реконструкция сооружений по очистке сточных вод.....                                        | 101 |
| 2.2.1. Главные причины низкой эффективности очистки сточных вод на действующих сооружениях.....  | 101 |
| 2.2.2. Обследование и анализ работы действующих очистных сооружений.....                         | 106 |
| 2.2.3. Регулируемые канализационные системы.....                                                 | 110 |
| 2.2.4. Реконструкция сооружений механической очистки сточных вод.....                            | 114 |
| 2.2.5. Реконструкция сооружений биологической очистки сточных вод.....                           | 125 |
| 2.2.6. Реконструкция сооружений по доочистке сточных вод.....                                    | 144 |
| 2.2.7. Удаление из сточных вод азота и фосфора.....                                              | 153 |
| 2.3. Обеззараживание сточных вод.....                                                            | 158 |



|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4. Реконструкция сооружений по обработке осадков сточных вод .....                    | 161 |
| 2.4.1. Реконструкция илоуплотнителей .....                                              | 161 |
| 2.4.2. Интенсификация работы аэробных стабилизаторов .....                              | 163 |
| 2.4.3. Анаэробное сбраживание осадка в метантенках .....                                | 164 |
| 2.4.4. Аэробно-анаэробные и анаэробно-аэробные процессы стабили-<br>зации осадков ..... | 168 |
| 2.4.5. Реконструкция сооружений по обезвоживанию осадков .....                          | 170 |
| Контрольные вопросы .....                                                               | 175 |
| <b>Заключение</b> .....                                                                 | 176 |
| <b>Список рекомендуемой литературы</b> .....                                            | 177 |

## ВВЕДЕНИЕ

Современные системы водоснабжения и водоотведения находятся в динамическом состоянии: с одной стороны, непрерывно изменяются требования к работе элементов этих систем (более глубокая очистка природных и сточных вод, ухудшение качества воды в природных источниках, изменение степени и разнообразия загрязнений сточных вод), с другой стороны, изменяется состояние самой системы (уменьшается пропускная способность водоводов и водопроводных сетей за счет коррозии металлических труб, уменьшаются напоры, развиваемые насосами, происходит износ оборудования как физический, так и моральный). Изменение состояния систем водоснабжения и водоотведения особенно усилилось в последние годы в так называемый постперестроечный период, когда в силу экономических причин нарушилась их нормальная эксплуатация. Средства, выделяемые на развитие этих систем, явно недостаточны, и поэтому увеличилось внимание к поиску оптимальных, зачастую более дешевых решений. Больше внимания стало уделяться реконструкции существующих сооружений на базе современных достижений науки и техники как отечественной, так и зарубежной. Такие реконструированные сооружения могут еще в течение одного-двух десятков лет удовлетворять современным требованиям.

Так, генеральной схемой развития канализации города Москвы, принятой в 1998 г., поставлена задача – к 2010 г. осуществить реконструкцию всех сооружений биологической очистки с внедрением технологий удаления азота и фтора. В Санкт-Петербурге, где водоотведение помимо общих правил водопользования связано еще и требованиями Конвенции по защите вод Балтийского моря (Хельсинская комиссия), предполагается за счет реконструкции очистных сооружений снизить в очищенной воде к 2001 г. содержание общего азота до 10 мг/л, фосфора до 1,5 мг/л при одновременном уменьшении нормы водоотведения в 1,5 раза (с 450 до 300 л/чел.·сут). Эта последняя тенденция к уменьшению норм водоснабжения и водоотведения должна рассматриваться как главное условие при начале реконструкции сооружений.

Реконструкция имеет и негативные стороны: это неудобство выполнения строительно-монтажных работ на площадке существующих сооруже-

ний, большая доля ручного труда, временное выключение части действующих сооружений из работы и др.

В любом случае, окончательное решение в пользу реконструкции должно приниматься на базе технико-экономического сравнения вариантов.

При написании данного пособия использован опыт автора по реконструкции и интенсификации систем водоснабжения и водоотведения на трассе Байкало-Амурской магистрали, на Украине, в Удмуртской Республике.

## 1. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

На этапе проектирования систем водоснабжения и водоотведения используются действующие нормативные материалы, имеющиеся исходные данные, существующие технологии и оборудование. В начале эксплуатации такие системы некоторое время соответствуют той модели, которая была заключена в проект, и удовлетворяют требованиям потребителя. Но затем в силу изменившихся внешних и внутренних условий системы водоснабжения и водоотведения не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям. Это происходит, потому что со временем изменяются нормативы (ГОСТ, СНиП и др.), условия работы систем водоснабжения и водоотведения (качество воды в источниках, уровни воды и др.), наконец, устаревают технологии и оборудование (появляются новые, более экономичные насосы и двигатели, новые системы автоматического контроля и регулирования), используются новые химические реагенты и технологии. Со временем происходит коррозия и разрушение металлических и железобетонных трубопроводов, возрастают гидравлические сопротивления труб и потери напора в них, увеличиваются утечки из трубопроводов. В то же время падают напоры, развиваемые насосными станциями, по причине износа рабочих колес насосов.

За последние годы изменился режим работы систем водоснабжения и водоотведения. На первое место вышло потребление воды населением. График потребления приблизился к режиму расходования воды в жилом фонде. Особенностью этого режима является то, что максимальные расходы (до 20 %) превышают расчетные, что вызывает перегрузку, прежде всего, элементов систем водоснабжения и водоотведения внутри зданий.

С течением времени увеличивается поток отказов – возникает необходимость в реконструкции систем водоснабжения и водоотведения.

Крупные реконструкции обычно закладывают в генеральные планы развития городов и населенных пунктов. На современном этапе пристальное внимание к реконструкции обусловлено еще и тем, что она, как правило, более экономична, чем сооружение вторых и третьих очередей систем водоснабжения и водоотведения, а это немаловажно в условиях недостаточного финансирования.

Основными направлениями реконструкции в системах водоснабжения на ближайшие годы являются:

- усиление схем очистки воды из открытых источников;
- введение окислительно-сорбционных технологий с минимальным использованием хлора как окислительного и обеззараживающего реагента;
- широкое использование пластмассовых труб для устройства новых и ремонта старых водоводов и сетей;
- осуществление глубокой доочистки сточных вод с удалением биогенных элементов (азота и фосфора);
- увеличение окислительной способности аэротенков и биофильтров путем использования новых загрузочных материалов, более современных систем аэрации;
- применение новых технологий при обезвоживании и обработке осадков сточных вод.

## **1.1. Реконструкция водозаборных сооружений подземных вод**

### **1.1.1. Основные причины ухудшения работы скважин**

В настоящее время в народном хозяйстве России наиболее распространены сооружения для забора подземных вод являются трубчатые буровые колодцы-скважины, забирающие воду из напорных и безнапорных пластов.

Значительная часть водозаборных скважин бурится взамен вышедших из строя, что является следствием их неправильной эксплуатации. Основными причинами ухудшения работы скважин и требованиями их реконструкции могут быть: неисправность насосного оборудования, пескование, глинизация фильтров и прифильтрового пространства солевыми отложениями, химическая или электрохимическая коррозия фильтров, снижение качества питьевой воды.

Наиболее частой причиной ухудшения работы скважин является износ насосного оборудования. В погружных насосах с течением времени увеличивается зазор между рабочими колесами и уплотнениями, изнашиваются лабиринты колес, лопаточных отводов и плавающих колец, возрастают объемные потери воды при перетекании ее через увеличивающиеся зазоры между вращающимися рабочими колесами и неподвижными частями насоса. В неблагоприятных условиях работы погружной насос ежемесячно может терять до 2-3 % первоначальной производительности вследствие физи-

ческого износа деталей. Причем меньший процент износа относится к новым насосам, которые еще не подвергались капитальному ремонту, больший – к насосам, прошедшим один или несколько капитальных ремонтов.

Таким образом, через 10-12 месяцев эксплуатации артезианская скважина из-за подработки погружного насоса может недодавать 20–36 % первоначального количества воды (рис. 1.1).

При потере более 25 % первоначального дебита из-за износа погружного насоса эксплуатировать скважину экономически нецелесообразно, ее следует останавливать на ремонт для замены насосного оборудования.

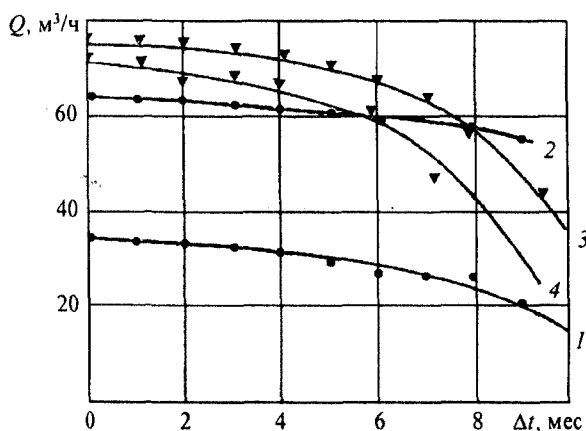


Рис. 1.1. График изменения производительности скважин вследствие износа погружного насоса: 1, 2 – скважины, оборудованные новыми погружными насосами; 3, 4 – скважины, оборудованные погружными насосами после ремонта

Причиной пескования скважин могут быть: неправильный выбор сетки или проволоки фильтра; неправильная установка фильтра, порыв его рабочей части; износ фильтра высокими скоростями движения воды в нем; разрушение рабочей поверхности фильтра химической или электрохимической коррозией; износ сальников, обсадных труб и образования свищей в них; нарушение цементации затрубного пространства скважины и др. Во всех перечисленных случаях требуется реконструкция скважин (капитальный ремонт).

Особым видом нарушения работы скважин является ухудшение качества подаваемой воды. Причиной этому чаще всего могут быть: неправильная конструкция ствола скважины, отклонение от проекта при бурении и несоблюдение технических условий, плохое состояние зон санитарной охраны,

влияние бездействующих незатампонированных скважин, а также износ обсадных труб.

Артезианские скважины, вышедшие из строя или ухудшившие свою работу, подлежат детальным гидрогеологическим обследованиям, на основании которых определяют причины ухудшения работы скважин и разрабатывают мероприятия по их реконструкции или ремонту.

### 1.1.2. Методы диагностики и обследования скважин

#### *Применение телевидения для диагностики скважин*

Для осмотра и визуального контроля подводных сооружений (скважин глубиной 100 м и более, обсадных труб и фильтров скважин средних и малых диаметров) применяют телекамеры малых габаритов. К примеру, для обследования глубоких скважин, шахтных колодцев, водопроводных сетей, канализационных труб и коллекторов как в осевом, так и радиальном направлениях применяют специальную телевизионную установку фирмы ИВАК типа WMK-7. Она устанавливается на автомашине «мерседес-бенц» и питается через инвертор-трансформатор напряжения (рис. 1.2), может работать от сети 220 В.

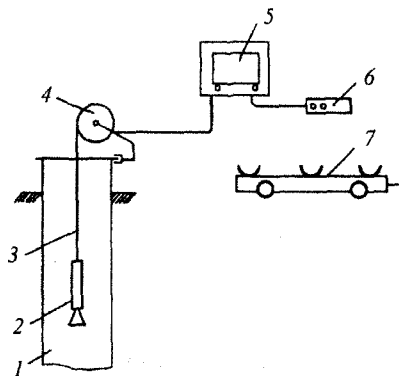


Рис. 1.2. Схема телевизионной установки WMK-7: 1 — скважина, подлежащая обследованию; 2 — телевизионная камера; 3 — коаксиальный кабель; 4 — спусковое устройство с барабаном для укладки кабеля; 5 — наблюдательный стенд с монитором; 6 — видеомagneитофон; 7 — телевизионный трактор для обследования трубопроводов

Телевизионные камеры типа WMK-7 и SMK-7 содержат электронику и все приспособления, необходимые для дистанционного управления и контроля. На стенде производят включение, регулирование, управление, здесь же наблюдается телевизионное изображение и при необходимости осуществляется фотографирование и запись на магнитную ленту видеомagneитофона.

При обследовании скважины кроме оператора и помощника присутствует гидрогеолог или другой квалифицированный специалист, умеющий на месте анализировать телевизионное изображение.

Обследование состояния фильтров части скважины, расположенной на отметках 270–300 м и более, обычными методами занимает от одной до двух-трех недель. Скважинное телевидение дает возможность обследовать скважину за 2–3 ч.

#### *Гелиевая съемка водоносных горизонтов*

С помощью подобной съемки осуществляется постоянный контроль над водоносными горизонтами, расположенными на различной глубине. При наличии гидравлической связи между водоносными горизонтами наблюдается изменение концентрации гелия (увеличение при перетоке снизу и уменьшение при поступлении воды из вышележащих слоев). Отбор проб производится наливным способом в гидрогеологическую колбу.

Изменение концентрации гелия дает возможность контролировать состояние обсадных труб скважин. Например, если в пробе установлена концентрация гелия, соответствующая сеноманскому горизонту, а скважина расположена в юрском, то, следовательно, происходит подача воды из сеноманского горизонта по дефектам заделки затрубного пространства или через корродированные отверстия в обсадных трубах скважин.

Маркирование эксплуатируемого водоносного горизонта позволяет отключать некоторые скважины без значительного уменьшения общего дебита, дает существенную экономию электроэнергии и снижение эксплуатационных затрат.

#### *Обследование скважин электронно-каротажным способом*

Для этой цели используют специальные электронно-каротажные станции, которые позволяют определить наличие мест притока воды из пласта в скважину и зоны затрубного движения жидкости. Место притока и затрубного движения воды определяют методом *резистивиметрии* и *электротермометром*, измеряя удельное сопротивление жидкости.

Контроль технического состояния скважины (определение высоты цементного камня за колонной, затрубного движения воды, мест повреждения колонны и др.) осуществляют *радиоактивными* методами с использованием радиоактивных изотопов в виде водных солей кобальта, цинка и др.

Для уточнения конструкции скважины, длины и диаметра фильтра производят кавернометрию скважин. Диаметры обсадных труб, фильтров скважин измеряют *кавернометром* на сопротивлениях, входящих в комплект каротажных станций.



Для расчленения геологического разреза скважины на пласты и выделения водоносных горизонтов применяют *гамма-каротаж* и *нейтронный гамма-каротаж*.

При определении истинного удельного сопротивления пластов и выявления проникновения глинистого раствора в водоносный горизонт используют метод *бокового зондирования*.

### Расходомертия скважин

Для диагностики состояния скважин применяют прибор РЭТС-2, которым измеряют расход воды и определяют направление осевого потока. Расходомер позволяет диагностировать состояние обсадных труб скважин, определять глубину залегания и мощность водоносных горизонтов вновь пробуренных скважин, исследовать работу скважинных фильтров.

При оценке водопропускной способности фильтра по его длине в скважину нагнетается вода из водопроводной сети или из другой скважины. Скважинный прибор опускается на кабеле в нижнюю часть фильтра, затем осуществляется подъем прибора и через каждые 0,5–1 м (в зависимости от требуемой точности) замеряется поглощение воды скважиной по длине фильтра. Данные по водопоглощению записываются на расходограмму, пример которой приведен ниже (рис. 1.3).

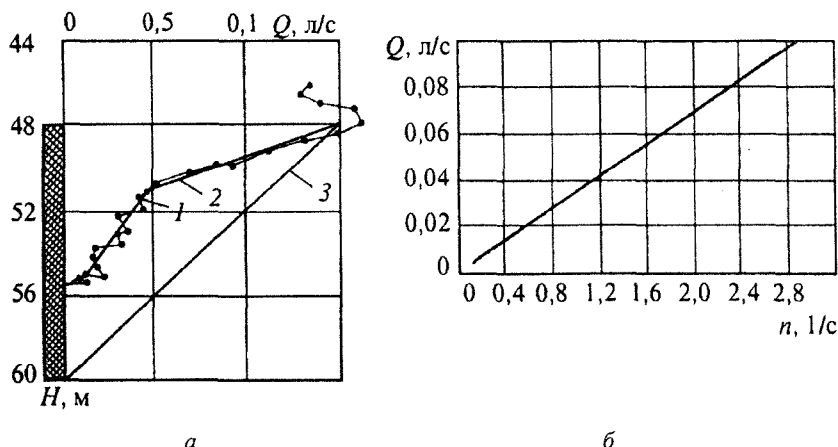


Рис. 1.3. Расходомертия скважины: *а* – схема расходомертического исследования фильтра скважины при нагнетании: 1 – частота вращения крыльчатки; 2 – фактическая подача скважины; 3 – теоретическая подача скважины; *б* – градуировочный график скважинного прибора ПС-36М (начало)

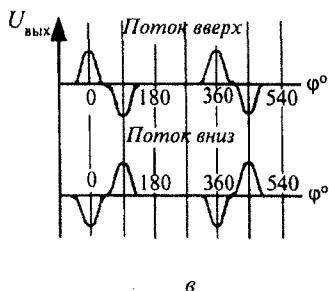


Рис. 1.3. Расходомерия скважины:  
в — схема преобразования частоты вращения крыльчатки в электрический сигнал (окончание)

На рисунке видно, что в интервале 60–56 м от поверхности земли фильтр скважины полностью закольматирован и не работает. На участке 56–52 м фильтр частично засорен и лишь на отметках 52–48 м расход воды через фильтр максимальный. После соответствующей обработки фильтра выполняют повторную расходомерию.

Этим же прибором можно определить места притока или поглощения воды через обсадные трубы (при наличии свищей в них) и сальники вследствие нарушения их герметичности и др.

### 1.1.3. Восстановление дебита скважины

#### *Механическая очистка поверхности фильтра*

Наиболее простым приспособлением для очистки фильтра от осадков является механический ерш (рис. 1.4, а), который опускают в скважину на тросе или штангах. При движении ерша вниз-вверх внутренняя поверхность фильтра очищается от отложений. При механической очистке ствола скважины от продуктов коррозии применяют скребок (рис. 1.4, б) или ерш с улавливателем (рис. 1.4, в), обеспечивающим одновременно с очисткой сбор и накопление удаляемых осадков.

Конструкция ерша со спиральной намоткой показана на рис. 1.4, г. Спиральная намотка из нержавеющей проволоки обеспечивает вращательное движение ерша и позволяет качественнее производить чистку фильтра.

Для разглинзации скважины и восстановления пропускной способности фильтра после кольматации фильтрующей поверхности солевыми отложениями и механическими примесями применяют гидроерш (рис. 1.4, е). Фильтр рекомендуется промывать сверху вниз.

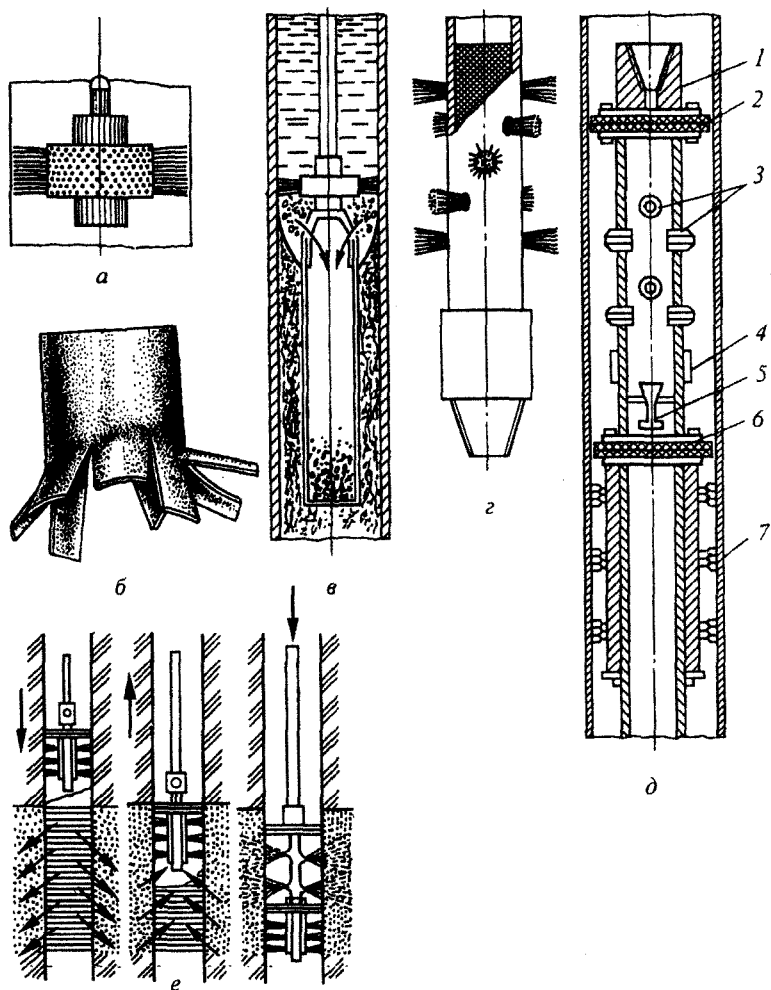


Рис. 1.4. Приспособления для очистки фильтров скважин от отложений: а – механический ерш; б – скребок; в – ерш с улавливателем; г – ерш со спиральной намоткой проволоки; д – гидроерш; е – схема работы гидроерша; 1 – муфта буровых труб; 2, 6 – поршни; 3 – промывочные насадки; 4 – муфта; 5 – обратный клапан; 7 – механический ерш с грузом

## Электрогидравлическая обработка фильтров

Этот метод основан на использовании электрического разряда высокого напряжения (около 50 000 В) в воде между электродами разрядника, который опускают в зону размещения фильтра. Кольматирующий осадок на фильтрах разрушается ударными волнами, возникающими во время прохождения электрического разряда. Установка для электрогидравлической очистки фильтров скважин монтируется в закрытом кузове автомашины.

Время обработки фильтра в каждом конкретном случае  $t_{\text{обр}}$  рассчитывается по формуле, мин,

$$t_{\text{обр}} = TL_{\text{ср}}, \quad (1.1)$$

где  $T$  – время обработки 1 м фильтра, равное 5–8 мин;  $L_{\text{ср}}$  – длина фильтра скважины, м.

Длина очищаемой зоны при неподвижном разряднике определяется следующим образом, м:

$$L = 1,6D, \quad (1.2)$$

где  $D$  – диаметр фильтра скважины, м.

Электрогидравлическая обработка фильтров скважин наиболее эффективна в случаях химической и электрохимической кольматации фильтров солевыми и железистыми отложениями, механического засорения рабочей части фильтров породами водоносных горизонтов, цементации пород при фильтрового пространства скважин и т.д. Применение этого способа очистки фильтров позволяет, при незначительных затратах по сравнению с другими методами, добиться максимального восстановления производительности скважин, снизивших свой дебит.

## Свабирование скважин

Для восстановления производительности скважин возможно применять их *свабирование*. Этот метод заключается в следующем. Своеобразный поршень-сваб с определенной скоростью погружается в скважину. При этом через столб воды на забой и стенки фильтра передается давление, что приводит к частичному освобождению отверстий сетки от кольматирующего материала. Затем резкий подъем сваба создает в скважине вакуум, под действием которого вода с большой скоростью устремляется в скважину, очищая поверхность фильтрационного пласта и фильтра от осадков и механических примесей (рис. 1.5).

Продолжительность работ по восстановлению дебита скважины свабированием 1-2 смены. Прирост дебита скважины может составлять от 5 до 20 м<sup>3</sup>/ч.

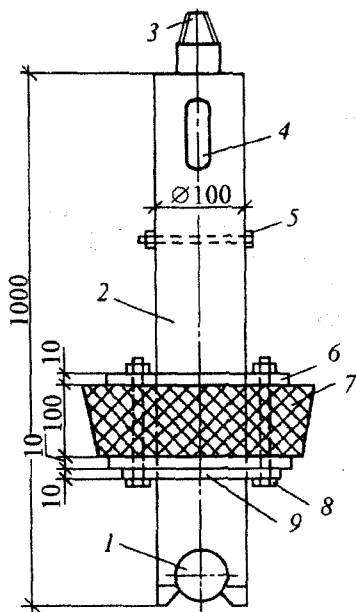


Рис. 1.5. Конструкция сваба:

1 – обратный клапан; 2 – стальная труба; 3 – переходник; 4 – разгрузочное отверстие; 5 – стопорный болт; 6 – съемный фланец; 7 – резиновая манжета; 8 – стяжной болт; 9 – опорный фланец

### Обработка скважин сухим льдом

Суть этого метода состоит в том, что в скважину опускается контейнер с сухим льдом, который устанавливают в начале на расстоянии 0,2–0,3 м выше статического уровня. Затем на буровых штангах монтируют уплотняющее устройство, в которое входят ряд фланцев и самоуплотняющаяся эластичная манжета, а также клапан избыточного давления и сливная труба.

После окончания монтажных работ в скважину вводят биоцидную добавку (ингибитор коррозии) и опускают контейнер с сухим льдом на 10–15 м в воду. При этом происходит реакция твердой углекислоты с водой и выделение большого количества углекислого газа.

Вследствие ограниченного воздушного пространства над поверхностью воды мгновенно создается избыточное давление газа, под действием которого происходит самоуплотнение эластичной манжеты и выдавливание столба воды через фильтр и прифилтровое пространство в водоносный горизонт.

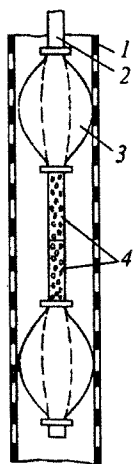
При определенном установленном давлении открывается вмонтированный в самоуплотняющуюся манжету клапан, происходит сброс избыточного давления газа до нуля. Под действием гидродинамического давления

пласта вода из водоносного горизонта через прифилтровое пространство и рабочую часть фильтра с большой скоростью поступает в ствол скважины. При быстрой смене уровня воды в скважине происходит многократное возвратно-поступательное движение воды через фильтр и прифилтровое пространство до полного растворения сухого льда в воде и соответственно интенсивная многократная промывка и очистка рабочей части фильтра и прифилтрового пространства от продуктов коррозии и солевых отложений. Растворению солевых отложений также способствует углекислота.

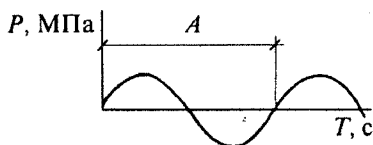
#### *Ультразвуковой и вибрационный методы обработки фильтров*

Производительность скважин можно восстановить методом ультразвуковой обработки фильтров (рис. 1.6, а).

При распространении ультразвуковых волн в воде наблюдается ультразвуковая кавитация, сопровождающаяся действием высоких переменных давлений, достигающих сотен тысяч атмосфер. Под действием этих переменных давлений, возникающих в звуковой волне в местах неоднородности (газовые пузырьки, взвешенные твердые частицы), жидкость в полупериод разряжения разрывается с образованием множества кавитационных каверн, а затем в полупериод сжатия эти полости захлопываются или начинают пульсировать (рис. 1.6, б). Процесс захлопывания полости происходит за несколько микросекунд и сопровождается распространением ударной волны и рядом других явлений. При этом на рабочей поверхности фильтра происходит отделение осадка от материала фильтра вследствие нарушения сил сцепления между частицами осадка и металлом.

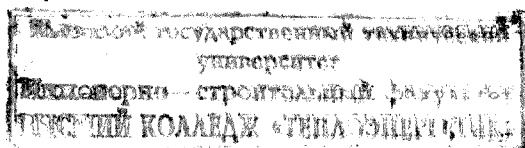


*а*



*б*

*Рис. 1.6. Очистка фильтра ультразвуком: а — схема монтажа ультразвуковой установки в скважине; б — график движения ультразвуковых волн; 1 — фильтр; 2 — водоподъемные трубы; 3 — резиновый тампон; 4 — ультразвуковой прибор*



Источником ультразвуковых колебаний является генератор УЗГ-2,5 мощностью 7,5 кВт.

Сущность вибрационного метода очистки фильтров заключается в том, что во время обычной промывки или откачки в скважине периодически возбуждается интенсивная вибрация находящегося в ней водяного столба с помощью рабочего органа, расположенного в зоне фильтра. Выпускают следующие типы вибрационных установок: ВУР-1, ВУР-2, ВУР-3 и ВУР-4.

Продукты коррозии и солевые отложения откачиваются вместе с водой эрлифтом.

Рациональная продолжительность межремонтного периода при пневматической обработке скважин в рыхлых отложениях не превышает шести месяцев, а при обработке скважин в трещиновых полускальных породах (каркасные фильтры) 2–3 года.

### *Обработка фильтров реагентами*

Восстановление дебита артезианских скважин путем реагентной обработки основано на принципе растворения солевых и железистых осадков, закупоривающих рабочую поверхность фильтра и прифилтрового пространства. Метод применяют для скважин, пласты которых представлены карбонатными породами: известняками, доломитами и другими, при использовании меловых (карбонатных) растворов в процессе вскрытия водоносного пласта, а также в случаях, когда подземные воды имеют повышенное содержание солей карбоната кальция, магния и др.

Для очистки фильтров скважин используют поверхностно-активные вещества (ПАВ) и соляные кислоты совместно с ингибитором – катапин К – 1:250. Соляно-кислотной обработке предшествует механическая очистка внутренних поверхностей фильтра ершом и откачка шлама эрлифтом.

Кислоту в скважину заливают через заливную трубу диаметром 32–40 мм, опущенную до рабочей части фильтра. После заливки всей порции кислоты трубу извлекают. Устье скважины герметизируют. К одному из патрубков подается сжатый воздух от компрессора или баллона с азотом. Происходит задавливание соляной кислоты в зафилтровое пространство скважины, вследствие чего солевые отложения на фильтре и в прифилтровой зоне растворяются. По истечении одного часа давление внутри скважины сбрасывается и соляная кислота восстанавливает свой первоначальный уровень. Такие операции проводят 5–6 раз. После этого откачивают воду из скважины эрлифтом не менее восьми часов.

При обработке блочных фильтров вместо соляной кислоты используют полифосфаты, которые в отличие от кислот не разрушают фильтры.

В скважинах, длительное время находившихся в эксплуатации, для эффективного восстановления производительности рекомендуется провести

предварительное разрушение колюматизирующих образований с использованием импульсных методов и последующую реагентную обработку.

### *Пиротехнические методы обработки фильтров*

Очистка фильтров и прифильтрового пространства может осуществляться с помощью взрыва торпеды детонирующего шнура (ТДШ). Процесс очистки фильтра заключается в следующем. В момент взрыва в жидкость уходит особый вид возмущения – ударная волна, распространяемая в радиальном направлении.

Встречаясь с преградой, ударная волна частично отражается от нее и частично проходит в зафильтровое пространство. Благодаря кратковременности действия давление не разрушает фильтр, но резкий сильный удар, наносимый ударной волной, вызывает разрушение осадка. Затем наступает вторая фаза действия взрыва – удаление разрушенного осадка из отверстий фильтра в результате пульсации газового пузыря, образовавшегося при взрыве.

Для очистки фильтров скважин от продуктов коррозии и солевых отложений также можно использовать упрощенные конструкции торпед ДШ. Торпеда ДШ состоит из заряда, детонирующего шнура ДШ-В, содержащего 12,5 г взрывчатого вещества на метр длины, электродетонатора ЭД-8-56 или ЭДС, крепежных приспособлений и кабельной головки.

Для восстановления дебита скважин используют фугасные торпеды: ТШ-35; ТШ-43; ТШ-50; ТШ-65; ТШ-84; Ф-2 и др.

Дебит торпедированной скважины рекомендуется рассчитывать по формуле

$$Q = 2\pi k_{\phi} m \sqrt{\frac{P_{\text{пл}} - P_{\text{дин}}}{1/r - 1/R_{\text{вл}}}}, \quad (2.3)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации трещиноватой породы, м/сут;  $m$  – мощность пласта, м;  $P_{\text{пл}}$  – пластовое давление, МПа;  $P_{\text{дин}}$  – динамическое давление при откачке, МПа;  $r$  – радиус скважины, м;  $R_{\text{вл}}$  – радиус влияния скважины, м.

Взрывную очистку можно производить во всех достаточно прочных конструкциях фильтров (стальных дырчатых и шелевых, проволочных, сетчатых и др.).

Способ очистки фильтров с помощью взрыва нежелателен для скважин с обсадными трубами из асбестоцемента. Не допускается взрывным способом очищать керамические и блочные фильтры.

Скважины в рыхлых отложениях рекомендуется обрабатывать через 2–5 лет их работы, но не более 3–4 раз за весь период эксплуатации. В тре-



щиноватых полускальных породах ориентировочная продолжительность межремонтного периода скважин 4–6 лет.

#### *Очистка фильтров наливом воды*

Очистку фильтра и прифильтрового пространства можно осуществлять промывкой чистой водой. При этом воду нагнетают следующими способами: наливом воды в ствол скважины или поинтервальной промывкой фильтра водой, нагнетаемой в скважину через бурильные трубы и пакерное устройство.

При нагнетании (наливах) воды непосредственно в ствол скважины расход ее должен быть больше, чем ожидаемый дебит. Для этого к восстанавливаемой скважине с помощью переключений на напорном водоводе от 3–4 работающих скважин подается вода. Продолжительность нагнетания воды в ствол скважины 2–3 суток. Эффективность очистки фильтров и прифильтрового пространства контролируется в процессе производства работ понижением уровня воды, поглощаемой пластом, через одинаковые промежутки времени. Данные наносят на график (рис. 1.7). Если кривая понижения уровня, полученная при очередных замерах, совпадает с предыдущей кривой, то эффект промывки достигнут.

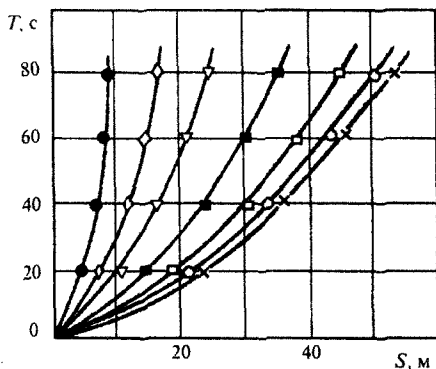


Рис. 1.7. График эффективности очистки фильтра и прифильтрового пространства скважины путем нагнетания воды в ствол

Промывка фильтров наливом воды рекомендуется для скважин со статическим уровнем воды  $H_{ст} = 40 - 50$  м и с цельной колонной (без переходов) обсадных труб.

При отсутствии таких условий рекомендуется поинтервальная промывка фильтра с помощью бурильных труб и пакерного устройства.

Давление воды определяют по формуле

$$P_y = (1,6 - 2)(P_{гор} - P_{пл}) + \Delta P, \quad (1.4)$$

где  $P_{\text{гор}}$  — полное горное давление, МПа;  $P_{\text{пл}}$  — пластовое давление, МПа;

$\Delta P$  — гидравлические потери в бурильных трубах, м.

Дебит скважин, восстановленных способом нагнетания воды в пласт, увеличивается на 10–30 м<sup>3</sup>/ч.

## **1.2. Реконструкция водозаборных сооружений из открытых источников**

Чаще всего возникает необходимость реконструкции водозаборных сооружений из-за потребности забора большего количества воды. Однако к такой необходимости могут привести и изменяющиеся в худшую сторону условия забора воды. Таким образом, можно выделить два направления реконструкции:

- улучшение условий работы и снижение степени отрицательного воздействия природных и других факторов;

- реконструкция непосредственно элементов водозаборного сооружения.

При наличии общих благоприятных условий работы водозабора его производительность может быть увеличена за счет замены насосно-энергетического оборудования, разумеется, при возможности увеличения забора воды из источника. В этом случае необходимо проверить пропускную способность всех коммуникаций и провести профилактические мероприятия на водоприемниках: расчистить русло, углубить перекаты, обеспечить шугозащиту и т.д. Может возникнуть необходимость расширения или устройства дополнительных водоприемных окон.

Чаще всего наряду с заменой оборудования требуется строительство дополнительных водоприемников, самотечных или сифонных линий и напорных водоводов, которое может осуществляться в зависимости от местных условий по схемам 1.8, а, б. При этом целесообразно строительство дополнительных оголовков с самостоятельными самотечными или сифонными трубопроводами.

Дополнительный оголовок рекомендуется вынести дальше в русло реки или, наоборот, приблизить к берегу, т.к. за период, предшествующий эксплуатации водозабора, могли измениться гидрологические условия, требования других водопользователей, появиться новые конструкции водоприемников и т.д. По подобным схемам осуществлялась реконструкция водозаборов в городах Екатеринбурге, Томске, Барнауле. После нее в комплексе одного водозабора действует до 5 и более водоприемных оголовков и 2–3 береговых колодца.

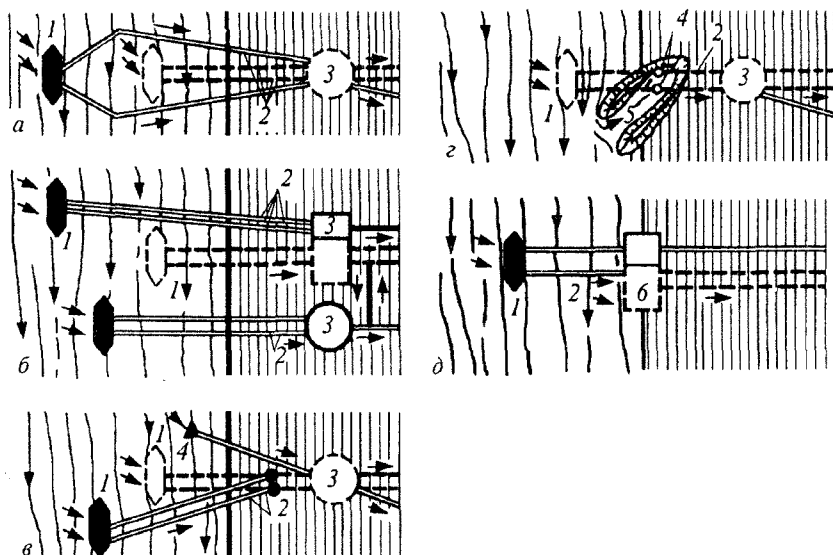


Рис. 1.8. Схемы реконструкции речных водозаборов: 1 – водоприемные оголовки; 2 – самотечные или сифонные линии; 3 – береговой колодец, совмещенный с насосной станцией I подъема; 4 – раструбные оголовки; 5 – водоприемный ковш; 6 – береговой водоприемник; 7 – соединительный трубопровод для переключения водопроводов; пунктир – первоначальные сооружения; двойная линия – сооружения последующего развития

Для увеличения надежности работы водозабора рекомендуется устройство дополнительного водоприемника, возможно, даже простейшей конструкции, что позволяет в экстремальных условиях предотвратить полную остановку водозабора (рис. 1.8, в).

В случае невозможности дальнейшей эксплуатации русловых водоприемников из-за сложных условий можно устроить ковшевой водозабор (рис. 1.8, г).

В ситуации, когда забор воды у берегов береговым водоприемником становится невозможным из-за интенсивного отложения наносов, понижения уровня воды в реке и других проблем, реконструировать водозабор можно, устроив дополнительный русловой затопленный водоприемник (рис. 1.8, д).

Когда исчерпаны возможности замены насосно-энергетического оборудования, осуществляется строительство дополнительных насосных станций I подъема (рис. 1.8) (вид с переключениями на напорных водоводах, а иногда и на всасывающих линиях). Такое решение приводит к взаимному резервированию насосно-энергетического оборудования.

Отрицательное влияние на работу водозаборов преимущественно из водохранилищ (шуга, наносы и т.д.) оказывают вдольбереговые течения, а также градиентные, плотностные и компенсационные. Скорость вдольбереговых течений может достигать 1-2 м/с у пологих берегов и до 3 м/с – у крутых. Возникают также течения в прибойных зонах под воздействием волн, подходящих к берегу под острым углом. На изгибах берегового склона направление вдольберегового течения отклоняется от берега, а сформировавшийся поток транспортирует на большие глубины наносы, шугу, планктон и т.д. (рис. 1.9). В работе водоприемников, оказавшихся в зоне распространения этого потока, и возникают отмеченные выше осложнения.

Для обеспечения устойчивой работы водоприемников в отмеченных условиях необходимо располагать их вне зоны распространения вдольбереговых течений или применять специальные сооружения и устройства (шпоры, буны), изменяющие направление вдольберегового течения (рис. 1.9).

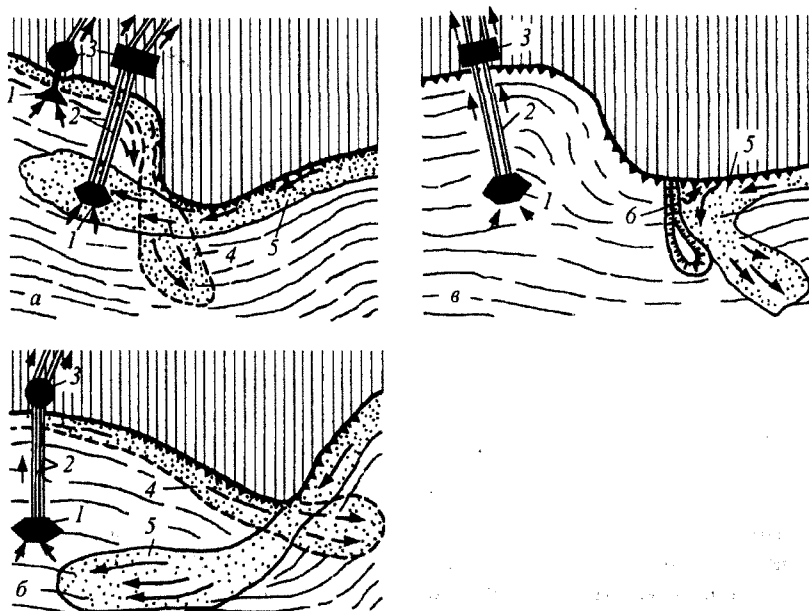


Рис. 1.9. Вдольбереговые течения на водохранилищных водозаборах: а – водоприемник подвержен воздействию вдольбереговых течений; б – водоприемник не подвержен воздействию вдольбереговых течений; в – вдольбереговые течения при наличии взвешеперехватывающей шпоры; 1 – водоприемник; 2 – подводящие трубопроводы; 3 – береговой колодец; 4, 5 – вдольбереговые течения при различных направлениях ветра; 6 – взвешеперехватывающая шпора

В случае невозможности строительства шпор или бунов реконструкция должна заключаться (как и на речных водозаборах) в строительстве дополнительных водоприемников вне зоны вдольбереговых течений.

При реконструкции ковшовых водозаборов также целесообразно заменять насосно-энергетическое оборудование станций I подъема, осуществлять строительство дополнительных водоприемников в ковшах, устройство шуго- и наносозащитных шпор и струенаправляющих стенок.

### 1.3. Реконструкция насосных станций

#### 1.3.1. Реконструкция насосных станций I подъема

Как отмечалось выше, производительность водозаборов на трубчатых колодцах (скважинах) уменьшается с течением времени за счет увеличения сопротивления при поступлении воды в скважину, что приводит к уменьшению дебита скважины, и за счет изменения характеристики насоса  $Q - H$ .

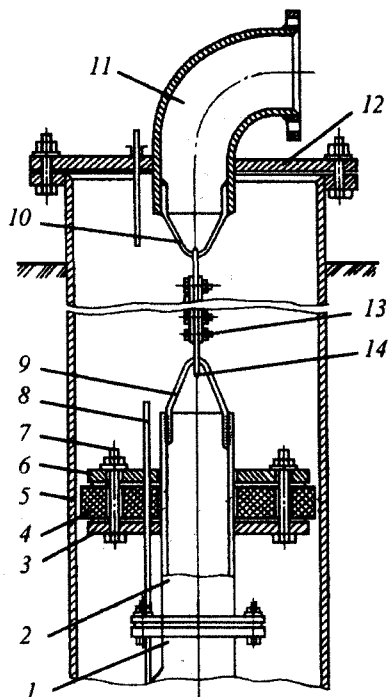
Для сохранения, хотя бы в течение некоторого времени, постоянной производительности водозабора следует стремиться уменьшить гидравлическое сопротивление водоподающего тракта. Одним из путей решения этой задачи является переход на забор воды из скважины без водоподъемных труб. Такое устройство показано на рис. 1.10. Устройство монтируют следующим образом. На поверхности земли соединяют нагнетательный патрубок погружного насоса с нижним концом трубы, к которому приваривают опорный фланец, скобу и при помощи подвижного фланца и болтов прикрепляют эластичную манжету. К заглушке приваривают колено и скобу 10. Через отверстие в самоуплотняющейся поперечной прокладке и заглушке пропускают токоподводящие кабели и присоединяют их к электродвигателю насоса.

Один конец каната зажимами прикрепляют к скобе 9, а второй к скобе 10. Длину троса выбирают такой, чтобы погружной насос находился на 2-3 м ниже уровня воды при работе насоса. После подготовительных работ насос вместе с нижним патрубком водоподъемной трубы и самоуплотняющейся прокладкой при помощи троса опускают в скважину.

При включении погружного электронасоса вода из нагнетательного патрубка через нижний участок водоподъемной трубы под давлением изливается в обсадную трубу, заполняет ее и отводится через верхний участок водоподъемной трубы.

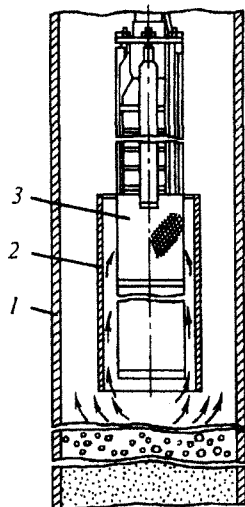
Под действием давления, создаваемого насосом, ликвидируется зазор между обсадной трубой и эластичной манжетой за счет деформации последней. В результате уплотнения манжеты всасывающая и напорная зоны насоса разграничиваются, вследствие чего обсадная труба становится водоподъемной. Для спуска воды из нее, в случае остановки насоса, в его обратном клапане просверливается отверстие диаметром 10 мм. Использование такой конструкции может дать экономию электроэнергии от 0,003 до 0,008 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> поднимаемой воды.

Рис. 1.10. Устройство для забора воды из глубоководных скважин без использования водоподъемных труб: 1 – нагнетательный патрубок погружного насоса; 2 – нижний участок водоподъемной трубы; 3 – опорный фланец; 4 – эластичная манжета; 5 – обсадная труба; 6 – подвижной фланец; 7 – болт; 8 – токоведущий кабель; 9, 10 – скобы; 11 – колено; 12 – заглушка; 13 – зажим; 14 – канат



При значительном уменьшении дебита скважины иногда возникает необходимость замены насоса на меньшую марку, т.е. с меньшим наружным диаметром. В случае, если диаметр электродвигателя значительно меньше диаметра эксплуатационной колонны труб, предусматривается установка электронасоса с кожухом, чтобы обеспечить охлаждение электродвигателя обтекаемым потоком воды (рис. 1.11).

Рис. 1.11. Установка электронасоса с кожухом: 1 – рабочая колонна скважины; 2 – кожух; 3 – погружной электронасос



Для забора воды из глубоководных скважин после значительного падения динамического уровня воды реконструкция может заключаться в двухъярусной установке погружных насосов, т.е. их последовательной работе.

Нижний насос подает воду в специальный герметический футляр, верхний отбирает воду из футляра и подает непосредственно в резервуар чистой воды. При этом напоры насосов складываются. Производительность нижнего насоса принимается на 2-3 м<sup>3</sup>/ч выше, чем верхнего. Верхний насос во избежание гидравлического разрыва струи работает под некоторым подпором (7-10 м). Для контроля наличия воды при всасывании верхним насосом в футляре устанавливается датчик сухого хода.

### 1.3.2. Реконструкция насосных станций II подъема

При модернизации и интенсификации работы водопроводных очистных сооружений с целью увеличения их производительности возникает проблема подачи большего количества воды потребителям. Для этого возможна замена насосного оборудования на более мощное, установка на существующих насосных станциях дополнительных насосов. Такие приемы можно использовать, если в проектах станций были предусмотрены резервные фундаменты, фундаменты с увеличенными размерами, либо место под сооружение дополнительных фундаментов. Если такие условия отсутствуют, то можно рекомендовать использование погружных скважинных насосов, работающих как в вертикальном, так и горизонтальном положениях.

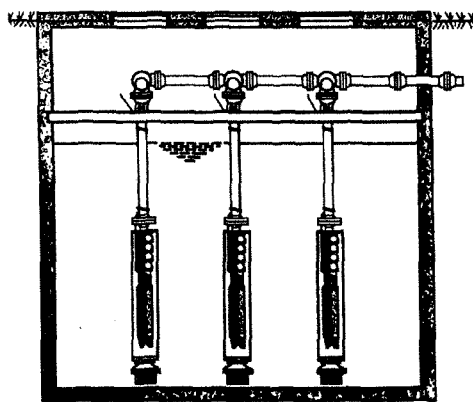


Рис. 1.12. Установка погружных насосов в резервуаре чистой воды

Подобные насосы могут быть установлены непосредственно в резервуары чистой воды, в резервуары каптажных сооружений подземных вод (рис. 1.12).

Подобные насосы можно использовать в насосных станциях III и других подъемах непосредственно на территории города для повышения напоров в отдельных высотных зданиях или микрорайонах. В этом случае можно обойтись без резервуаров, а выполнить забор воды насосами непосредственно из водопроводных труб (рис. 1.13).

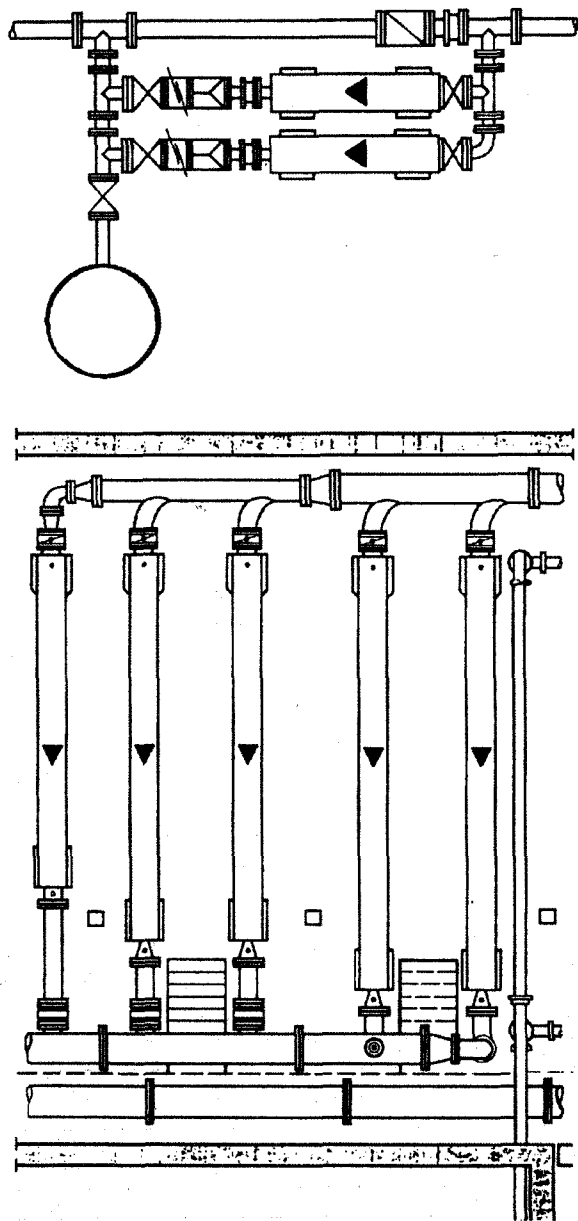


Рис. 1.13. Насосная станция с погружными насосами



В настоящее время отечественная промышленность только налаживает производство таких насосов, поэтому используется продукция различных зарубежных фирм: «Грундфос» и др.

В условиях экономического кризиса в России на первые места выходит проблема ресурсо- и энергосбережения, в которой обеспечение экономической работы насосных агрегатов занимает далеко не последнее место. Одним из путей экономии электроэнергии при подаче питьевой воды потребителям является подача ее с постоянным (необходимым для потребителя) напором. Такой режим подачи воды могут обеспечить насосные станции II и следующих подъемов, оборудованные насосами с регулируемым электроприводом. В отечественной и зарубежной практике большое распространение получил регулируемый электропривод переменного тока с частотным преобразователем.

В соответствии с нормативными документами регулируемым электроприводом следует оборудовать, как правило, один насосный агрегат в группе из 2-3 рабочих агрегатов. Управление регулируемым электроприводом осуществляется автоматически в зависимости от давления в диктующих точках водопроводной сети, расхода воды, подаваемой в сеть, уровня воды в резервуарах. Такой электропривод успешно применяется в насосных станциях городов Москвы, Вильнюса, Харькова, Чебоксар, Санкт-Петербурга. Выпускаемые российскими заводами совместно с иностранными фирмами частотные преобразователи имеют возможность подключения к ним поочередно работающих насосов, что обеспечивает равномерное использование насосных агрегатов. В табл. 1.1 приведена характеристика преобразователей частоты Flow Drive фирмы «Эмотрон» АВ для насосов и вентиляторов. Недостатком применения регулируемого электропривода является значительная стоимость оборудования. Однако величина сэкономленной электроэнергии достигает 15–20 %, а сокращение расхода чистой воды до 5 %. Поэтому окончательное решение принимается на основе технико-экономических расчетов.

Таблица 1.1

| Марка    | Нормальный ток, А | Максимальный ток, А | Мощность двигателя, кВт | Цена со склада в Москве без НДС, USD |
|----------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| UF40-003 | 2,5               | 3                   | 0,75                    | 1648                                 |
| UF40-005 | 4,0               | 5                   | 1,50                    | 1748                                 |
| UF40-007 | 6,0               | 7                   | 2,20                    | 1798                                 |
| UF40-011 | 9,5               | 11                  | 4,0                     | 1823                                 |
| UF40-016 | 13,0              | 16                  | 5,50                    | 1923                                 |
| UF40-022 | 18,0              | 22                  | 7,50                    | 2872                                 |
| UF40-031 | 26,0              | 31                  | 11                      | 3096                                 |
| UF40-037 | 31,0              | 37                  | 15                      | 3321                                 |

| Марка    | Нормальный ток, А | Максимальный ток, А | Мощность двигателя, кВт | Цена со склада в Москве без НДС, USD |
|----------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| UF40-055 | 46,0              | 55                  | 22                      | 3596                                 |
| UF40-073 | 61,0              | 73                  | 30                      | 4719                                 |
| UF40-089 | 74,0              | 89                  | 37                      | 5319                                 |
| UF40-108 | 90,0              | 108                 | 45                      | 7466                                 |
| UF40-131 | 109,0             | 131                 | 55                      | 9259                                 |
| UF40-175 | 146,0             | 175                 | 75                      | 10568                                |
| UF40-210 | 175,0             | 210                 | 90                      | 11597                                |
| UF40-252 | 210,0             | 252                 | 110                     | 16834                                |
| UF40-300 | 250,0             | 300                 | 132                     | 19079                                |
| UF40-360 | 300,0             | 360                 | 160                     | 20458                                |
| UF40-450 | 375,0             | 450                 | 200                     | 38906                                |
| UF40-564 | 470,0             | 564                 | 250                     | 42319                                |
| UF40-708 | 590,0             | 708                 | 315                     | 46294                                |

#### 1.4. Реконструкция водоводов и водопроводных сетей

Необходимость реконструкции водопроводных сетей возникает вследствие того, что фактические условия их работы с течением времени начинают отличаться от проектных. Чаще всего отдельные линии или вся сеть работают с гидравлической перегрузкой, что вызывает дополнительные потери напора и нехватку его у потребителей. Появляется необходимость в установке насосных станций подкачки и т.д. Периодическая реконструкция водопроводных сетей вполне закономерна, т.к. нормальное развитие (укрупнение) населенного пункта периодически требует и развития водопроводных сетей.

Одной из особенностей водопроводных сетей и водопроводов в нашей стране является то, что многие из них (около 85 %) уложены из металлических труб, которые в процессе эксплуатации изменяют (увеличивают) свои гидравлические сопротивления в значительно большей степени, чем это предусмотрено в расчетных таблицах (увеличение может быть более двух раз).

Перед началом реконструкции водопроводных сетей работа сети тщательно изучается, проводится манометрическая съемка, определяются фактические гидравлические сопротивления трубопроводов разных диаметров, затем выполняется гидравлический расчет кольцевой сети на ЭВМ для характерных режимов ее работы, анализируются результаты и намечаются пути реконструкции.

### 1.4.1. Определение гидравлических сопротивлений водопроводных линий и способы их уменьшения

В процессе эксплуатации водопроводных линий пропускная способность металлических трубопроводов значительно уменьшается вследствие внутренней коррозии и инкрустации. Гидравлические сопротивления трубопроводов увеличиваются обычно в 2–7 раз и более по сравнению с первоначальными значениями. Они зависят от диаметра и материала труб, качественных показателей транспортируемой воды, условий работы и срока эксплуатации трубопровода. Поэтому правильное определение фактических гидравлических сопротивлений водопроводных линий имеет большое значение при разработке проектов реконструкции действующих водоводов и водопроводных сетей.

Гидравлические характеристики действующих трубопроводов можно определить по методу «трех манометров», согласно которому фактическое удельное сопротивление исследуемого трубопровода (рис. 1.14) вычисляют по формуле

$$A_{\Phi} = \frac{(\sqrt{i_1} - \sqrt{i_2})^2}{q^2}, \quad (1.7)$$

где  $i_1$  и  $i_2$  – гидравлические уклоны на участках трубопровода длиной  $l_1$  и  $l_2$ , определяемые соотношением  $i_1 = h_1/l_1$ ;  $i_2 = h_2/l_2$ , где  $h_1$  и  $h_2$  – потери напора на этих участках, измеряемые при помощи образцовых манометров, м;  $q$  – расход воды, измеряемый через ответвление, установленное на расстоянии  $l$  от начала исследуемого трубопровода.

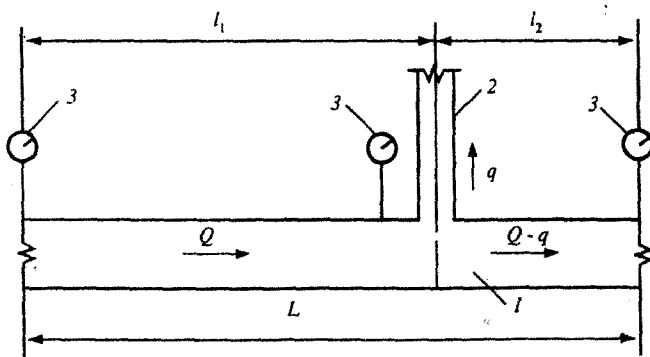


Рис. 1.14. Схема измерения гидравлических сопротивлений труб методом «трех манометров»: 1 – трубопровод; 2 – ответвление; 3 – манометры

На трубопроводе между манометрами все водопотребители отключаются. Манометры ставятся в начале и конце трубопровода, а также в месте ответвления. Расход  $q$  должен составлять не менее 10–15 % транзитного расхода  $Q$ , определяемого из выражения

$$Q = \sqrt{\frac{i_1}{A_\Phi}}. \quad (1.8)$$

Потери напора на участках вычисляются по формулам, м:

$$\begin{aligned} h_1 &= 10(M_1 - M_2) + \Delta h_1; \\ h_2 &= 10(M_2 - M_3) + \Delta h_2, \end{aligned} \quad (1.9)$$

где  $M_1, M_2, M_3$  – показания образцовых манометров, кг/см<sup>2</sup>;  $\Delta h_1, \Delta h_2$  – разность в отметках осей соответственно первого и второго или второго и третьего манометров, м.

Наиболее сложной и трудоемкой операцией при вычислении гидравлических сопротивлений действующих водопроводных линий является определение расхода воды, проходящей по трубопроводу. Весьма точным является объемный метод, при котором расход вычисляется по формуле

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1.10)$$

где  $W$  – объем емкости или резервуара, м<sup>3</sup>, заполняемый или опорожняемый за время  $t$ .

Этим методом целесообразно определять расход воды при испытании насосов и водоводов, а также при измерении по методу «трех манометров» расхода  $q$ , отбираемого обычно через пожарные гидранты.

Однако при наличии большого количества участков сети такая работа является очень громоздкой. Поэтому при обследовании действующей системы подачи и распределения воды целесообразно испытывать лишь характерные участки сети, сгруппировав их в зависимости от материала и диаметров труб, а также от условий и сроков эксплуатации.

Коэффициент увеличения удельного сопротивления труб  $A_\Phi$  по сравнению с табличным значением  $A_T$ , взятый для стальных металлических труб, определяется по формуле

$$K = \frac{A_\Phi}{A_T} = \frac{11,9 d_p^{0,3}}{(\lg(3,7 d_p / \Delta_{э\kappa\text{в}}))^2}, \quad (1.11)$$

где  $d_p$  – расчетный внутренний диаметр трубопровода, мм;  $\Delta_{\text{экв}}$  – эквивалентная шероховатость, т.е. такая воображаемая равномерная зернистая шероховатость с высотой (диаметром) зерен  $d = \Delta_{\text{экв}}$ , при которой в области квадратического сопротивления потери напора в трубах будут равны потерям напора при естественной шероховатости.

Эквивалентную шероховатость находят из выражения

$$\Delta_{\text{экв}} = \frac{3,7d_p}{\exp\left(0,33/d_p^2 \sqrt{A_\phi d_p}\right)}. \quad (1.12)$$

Вычислив  $\Delta_{\text{экв}}$  для определенных диаметров труб и соответствующего срока и службы  $T$ , строят график  $\Delta_{\text{экв}} = f(T)$ . По этому графику для всех участков сети находят  $\Delta_{\text{экв}}$ , зная продолжительность их эксплуатации и приняв, что условия работы примерно одинаковы для всего водопровода. Затем по формуле или по графику, представленному на рис. 1.15, находят соответствующий коэффициент  $k$ , а следовательно и  $A_\phi$ . Такой метод позволяет не производить натуральные измерения для всех трубопроводов сети. Но, как показывают исследования, формула (1.11) справедлива, если относительная шероховатость трубопровода

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{экв}}}{d_p} \geq 0,0047. \quad (1.13)$$

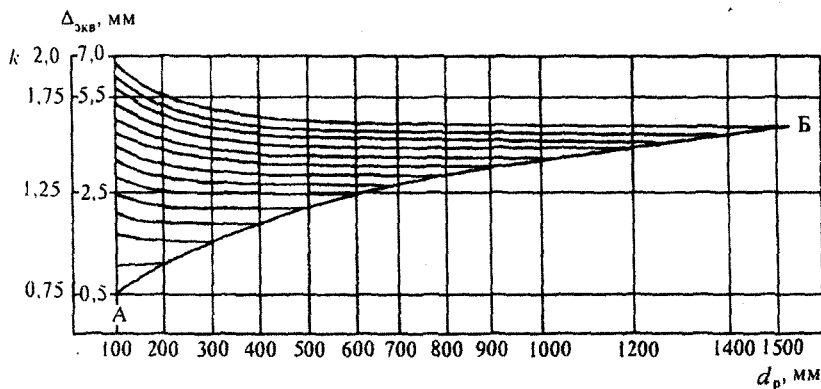


Рис. 1.15. График для определения коэффициента увеличения удельного сопротивления труб

Этому условию удовлетворяет график зависимости  $k = f(d_p, \Delta_{\text{экр}})$ , находящийся выше кривой АБ (рис. 1.15), построенной по уравнению

$$K = 1,42d_p^{0,3}. \quad (1.14)$$

Для предохранения металлических трубопроводов от образования отложений внутренние поверхности стенок необходимо защищать от коррозии путем стабилизации воды и своевременно очищать.

Очистку внутренней поверхности труб диаметром 100–1200 мм от различных отложений и продуктов коррозии целесообразно производить при помощи специального устройства, которое передвигается по трубопроводу благодаря давлению воды или сжатого воздуха. Ножевые головки устройства прижимаются к очищаемой поверхности трубопроводов пружинами и при движении устройства срезают отложения на трубах. Срезанные отложения удаляются через грязевыпуски, расстояние между которыми зависит от диаметра очищаемого трубопровода и количества отложений в нем. Ориентировочно эти расстояния определяются по формуле

$$L = 7,2d - 0,32, \quad (1.15)$$

где  $d$  – диаметр условного прохода очищаемого трубопровода, м.

Шарнирное соединение элементов позволяет проходить трубопроводы различных диаметров и осуществлять повороты в них до 90°. Очистка труб от отложений позволяет восстановить их пропускную способность и замедлить процесс коррозии, следовательно, уменьшить число аварий на трубах и увеличить срок их эксплуатации с 15 до 30 лет. В результате этого увеличивается подача воды потребителям и снижается удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на водоподъем.

#### 1.4.2. Манометрическая съемка водопроводной сети

Целью выполнения натурных исследований системы подачи и распределения воды является установление фактической картины совместной работы водопроводной сети с ее водопитателями, выявление участков, требующих увеличения пропускной способности, и выяснение причин снижения напоров в сети ниже требуемых значений. Конечная цель исследований заключается в разработке рекомендаций по реконструкции водопроводной сети и улучшению условий ее совместной работы с насосными станциями и сооружениями, регулирующими напор.

Для измерения напоров в водопроводной сети и выявления характера изменения их в течение суток проводят манометрическую съемку сети. Для этого на ней намечают характерные точки, в которых измеряют фактиче-

ские напоры. Количество таких точек зависит от размеров сети. Чем их больше, тем точнее будут результаты работы. Как показывает опыт проведения манометрических съемок в таких городах, как Ровно, Ивано-Франковск и Ужгород, характерных точек на сети должно быть не менее 25–30. Напоры измеряют с помощью самопишущих приборов. Манометры устанавливают в водопроводных колодцах на приваренных к трубам стальных патрубках (штуцерах) и подключают при помощи трехходовых кранов. Подсоединять манометры к сети можно также с помощью стендера.

Для определения пьезометрических отметок в расчетных точках сети предварительно при помощи нивелировки должны быть найдены геодезические отметки осей манометров.

Пьезометрические отметки вычисляют по формуле

$$Z_{ij} = Z_{0i} + H_{ij}, \quad (1.16)$$

где  $Z_{0i}$  – отметка оси манометра в  $i$ -й точке сети, м;  $H_{ij}$  – напор в этой точке для  $j$ -го часа суток, полученный при помощи манометров-самописцев, м.

На рис. 1.16 приведены значения пьезометрических отметок и характер их колебания по часам суток для некоторых характерных точек Ивано-Франковска. Как видно из графиков, характер изменения пьезометрических отметок во всех точках по часам суток примерно одинаков; при этом в период с 8 до 22 ч напоры значительно уменьшаются вследствие увеличения водопотребления из сети. Анализ графиков показывает, в каких точках сети и в какие часы суток фактические свободные напоры меньше требуемых или больше допускаемых.

По результатам измерения свободных напоров в точках сети и вычисления по ним пьезометрических отметок в этих точках строят линии равных пьезометрических отметок (изолинии) по участкам сети для характерных случаев водопотребления и водоподачи (обычно часы максимального и минимального водопотребления из сети). Частота расположения линий позволяет установить, какие участки сети и в какой мере являются перегруженными или недогруженными. Для этого вычисляют гидравлические уклоны по всем участкам водопроводной сети и сравнивают их с предельными экономическими значениями, определяемыми по формулам:

$$I_{\min} = \frac{8\lambda Q_{\min}^2}{\pi^2 g d_p^5}; \quad (1.17)$$

$$I_{\max} = \frac{8 Q_{\max}^2}{\pi^2 g d_p^5},$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трению по длине;  $Q_{\min}$  и  $Q_{\max}$  – предельные экономические расходы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $d_p$  – расчетный внутренний диаметр трубы, м.

Фактические гидравлические уклоны по участкам сети вычисляют по формуле

$$I_{r-b} = \frac{(Z_r - Z_b)}{L_{r-b}}, \quad (1.18)$$

где  $Z_r$  и  $Z_b$  – пьезометрические отметки в начале и конце участка ( $r-b$ ), м;  $L_{r-b}$  – длина этого участка, м.

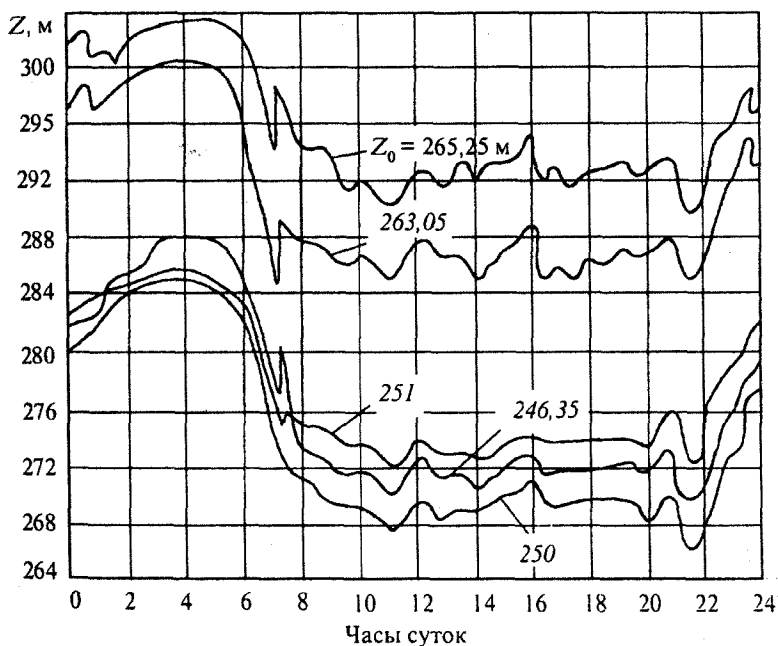
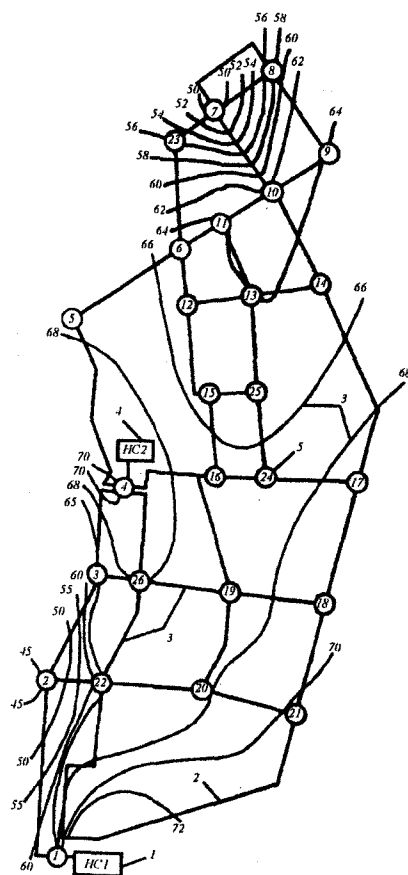


Рис. 1.16. График изменения пьезометрических отметок в точках водопроводной сети г. Ивано-Франковска

По схеме, приведенной на рис. 1.17, сеть питается от основной насосной станции I подъема (НС-I) по водоводам, подключаемым в узлы 2, 22, 21. В узел 4 подключена насосная станция подкачки (НС-II), забирающая воду из резервуара и предназначенная для повышения напоров в сети. Для одного из



характерных периодов совместной работы насосных станций и водопроводной сети (17 ч) построены линии равных пьезометрических отметок. Анализ результатов исследований позволил установить направление движения воды по каждому участку сети и гидравлическую загруженность, что дало возможность выявить ряд существенных недостатков в работе водопроводной сети.



К ним относится гидравлическая перегруженность участков 6-23, 23-7, 7-8, 8-9, 7-10, 3-4, 2-22. Гидравлические уклоны на этих участках значительно превышают рекомендуемые пределы. Например, потери напора на участке 10-7 длиной 620 м и диаметром 300 мм составляют 11 м в ночное время и 15,5 м в дневные часы. Это приводит к тому, что фактические напоры в районе, обслуживаемом указанными участками сети, меньше требуемых.

Рис. 1.17. Схема работы верхней зоны водопроводной сети: 1 – основная насосная станция; 2 – водоводы; 3 – водопроводная сеть; 4 – насосная станция подкачки; 5 – узловые точки; 6 – линии равных пьезометрических напоров

Исследования позволили обнаружить большие местные сопротивления на водоводе НС-1 (узел 2), вызванные неисправностью задвижки, а также сопоставить режимы работы сети до и после введения в эксплуатацию водовода НС-1 (узел 22). Сопоставление показало следующие изменения

в режиме работы сети: снизились гидравлические сопротивления и увеличилась подача воды в сеть; уменьшились потери напора в сети от НС-I до узла 7 на 9 м (с 36 до 27 м); увеличились свободные напоры в сети (например в узле 7 на 5 м).

### 1.4.3. Повышение пропускной способности и надежности работы водоводов

**Расчет переключений на водоводах.** Для обеспечения требуемой надежности работы водовода при аварии на нем устанавливают переключения, позволяющие исключить из работы аварийный участок. Если водовод, подающий воду в резервуар (башню), состоит из  $m$  линий одинакового диаметра и длины, то количество переключений можно определить по формуле

$$n = \frac{\varepsilon^2(2m-1)S_{\text{в}}}{(1-\varepsilon^2)(m-1)^2(S_{\text{ф}} + S_{\text{к}} + S_{\text{в}})} - 1, \quad (1.19)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент допустимого снижения подачи воды при аварии;  $S_{\text{в}}$  и  $S_{\text{к}}$  – сопротивление соответственно водовода и коммуникаций насосной станции,  $(\text{с/м}^3)^2 \cdot \text{м}$ ;  $S_{\text{ф}}$  – параметр в формуле, описывающей зависимость  $Q-H$  насоса  $H = H_{\text{пр}} - S_{\text{ф}}Q^2$ .

Сопротивление водовода вычисляют по формуле

$$S_{\text{в}} = \frac{AL}{m^2}, \quad (1.20)$$

где  $A$  – удельное сопротивление труб водовода,  $\text{м/м}$ ;  $L$  – длина каждой линии водовода,  $\text{м}$ .

Коэффициент  $\varepsilon$  зависит от минимально допускаемого расхода воды при аварии, который определяется из условий подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не менее 70 % расчетной потребности и на производственные нужды по аварийному графику:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{авар}}}{Q_{\text{н}}}, \quad (1.21)$$

где  $Q_{\text{н}}$  – расход воды по водоводу при нормальной работе,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Переключения на водоводах необходимы лишь в том случае, если  $n > 0$ . При подаче воды по водоводам из напорного резервуара  $S_\phi = 0$  и  $S_k = 0$ . Тогда

$$n = \frac{\varepsilon^2(m-1)}{(1-\varepsilon^2)(m-1)^2} - 1, \quad (1.22)$$

т.е. для этого случая число переключений на водоводе зависит не от сопротивления водовода (его длины и диаметра), а лишь от числа линий водовода  $m$  и принятого коэффициента  $\varepsilon$ .

При назначенном числе переключений  $n$  этот коэффициент определяется по следующим формулам:

для нагнетательного водовода

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(n+1)(m-1)^2(S_\phi + S_k + S_a)}{(2m-1)S_a + (n+1)(m-1)^2(S_\phi + S_k + S_a)}}; \quad (1.23)$$

для самотечного (напорного) водовода

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(n+1)(m-1)^2}{(2m-1) + (n+1)(m-1)^2}}. \quad (1.24)$$

Если водовод состоит из линий различного диаметра или длины, то вычисляют максимальное расстояние между переключениями:

$$l = \frac{(1-\varepsilon^2)(S_\phi + S_k + S_a)}{\varepsilon^2(A_{BA} - A_B)}, \quad (1.25)$$

где  $A_B$  — удельное сопротивление водовода из  $m$  линий при нормальной работе,  $(\text{с/м}^3)^2 \cdot \text{м}$ ;  $A_{BA}$  — то же при выключении одной линии между переключениями на ремонт,  $(\text{с/м}^3)^2 \cdot \text{м}$ .

Значения  $A_B$  и  $A_{BA}$  вычисляют по формулам:

$$A_B = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{A_i}}\right)^2}; \quad (1.26)$$

$$A_{BA} = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{A_i}} - \frac{1}{\sqrt{A_k}}\right)^2}, \quad (1.27)$$

где  $A_i$  – удельное сопротивление каждой из линий водовода;  $A_k$  – наименьшее удельное сопротивление линий водовода с наибольшим диаметром труб.

Переключения на водоводе нужны при  $l = L$ , где  $L$  – длина водовода, м.

### Пример

Определить количество переключений на водоводе длиной  $L = 6,8$  км, уложенном в три линии из стальных труб диаметрами  $d_1 = 700$  мм,  $d_2 = 500$  мм,  $d_3 = 400$  мм. Сопротивления этих линий  $S_1 = 186,66$  (с/м<sup>3</sup>)<sup>2</sup>·м,  $S_2 = 1219,24$  (с/м<sup>3</sup>)<sup>2</sup>·м,  $S_3 = 5435,72$  (с/м<sup>3</sup>)<sup>2</sup>·м. Вода по водоводу подается двумя насосами марки Д1250-65 (12НДс) с подачей  $Q = 900$  л/с. Параметр их аналитической характеристики  $Q - H$  при параллельной работе  $S_\Phi = 0,000025$  (с/л)<sup>2</sup>·м. При аварии на водоводе потребителям необходимо обеспечить подачу 70 % расчетного расхода воды, т.е.  $\varepsilon = 0,7$ . Удельное сопротивление каждой линии будет равно следующим значениям:

$$A_1 = \frac{186,66}{6800} = 0,02745 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м};$$

$$A_2 = \frac{1219,24}{6800} = 0,1793 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м};$$

$$A_3 = \frac{5435,72}{6800} = 0,7994 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м}.$$

По формуле (1.26) определим полное удельное сопротивление водовода

$$A_B = \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{0,02745}} + \frac{1}{\sqrt{0,1793}} + \frac{1}{\sqrt{0,7994}} \right)^2} = 0,01104 \text{ (с/м}^3\text{)}^2,$$

по формуле (1.27) – удельное сопротивление ремонтного участка при аварии на самом большом трубопроводе

$$A_{BA} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{0,1793}} + \frac{1}{\sqrt{0,7994}} \right)^2} = 0,08257 \text{ (с/м}^3\text{)}^2.$$

При нормальной работе полное сопротивление водовода  $S_B = A_B L = 0,01104 \cdot 6800 = 75,07$  (с/л)<sup>2</sup>·м. Приняв потери напора в коммуникациях

насосной станции  $h_k = 3$  м, получим  $S_k = 3/(0,9)^2 = 3,7$  (с/л)<sup>2</sup>·м. По формуле (1.19) определяем максимальное расстояние между переключениями:

$$l = \frac{(1 - 0,7)^2 (25 + 3,7 + 75,07)}{(0,7)^2 (0,08257 - 0,01104)} = 1510 \text{ м.}$$

Следовательно,  $n = L/l - 1 = 6800/1510 - 1 = 3,5$ , т.е. на водоводе необходимо установить четыре переключения.

**Расчет усиления реконструируемого водовода.** При проектировании реконструируемых систем водоснабжения приходится решать задачу увеличения подачи воды по водоводу. Это возможно осуществить следующими способами:

- 1) установкой более мощного насоса или включением в параллельную работу дополнительного однотипного насосного оборудования;
- 2) уменьшением сопротивления водовода за счет дополнительной прокладки еще одной линии водовода;
- 3) совмещением первого и второго способов.

При первом способе определяют расчетные параметры насосного оборудования — расход и напор:

$$Q_{н.у} = \varphi Q_n; \quad (1.28)$$

$$H = H_r + Q_{н.у}^2 (S_b + S_k), \quad (1.29)$$

где  $Q_{н.у}$  — увеличенный расход воды;  $\varphi$  — коэффициент увеличения расхода воды по водоводу ( $\varphi > 1$ );  $Q_n$  — расход воды, ранее пропускавшийся по водоводу;  $H_r$  — геометрическая высота водоподъема, измеряемая между уровнями воды в приемном и напорном резервуарах;  $S_b$  и  $S_k$  — сопротивления коммуникаций насосной станции и водовода.

Величину  $S_b$  вычисляют по формуле

$$S_b = \frac{1}{\left( \sum_1^m \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)^2}, \quad (1.30)$$

где  $m$  — количество линий водовода.

При втором способе увеличения подачи воды задача сводится к определению длины или диаметра дополнительно прокладываемой линии. Ес-

ли дополнительно прокладываемый трубопровод имеет такую же длину, как и существующие линии водовода, то сначала определяют его сопротивление, а затем по таблицам находят соответствующий ему диаметр. Сопротивление дополнительно прокладываемой линии определяют по уравнению

$$S_i = \left( \frac{(S_B \sqrt{S_{BY}} + S_{BY} \sqrt{S_B})^2}{S_B - S_{BY}} \right)^2, \quad (1.31)$$

где  $S_{BY}$  — сопротивление усиленного водовода, определяется оно следующим образом:

$$S_{BY} = \frac{S_B - (\varphi^2 - 1) (S_\phi + S_\kappa)}{\varphi^2}, \quad (1.32)$$

где  $S_\phi$  — параметр в формуле (1.19).

Если известно удельное сопротивление дополнительно прокладываемой линии  $A_1$ , то требуемую длину этой линии  $l$  ( $l < L$ ), при условии обеспечения подачи увеличенного расхода воды  $Q_{н.у}$  существующим насосом, определяют по формуле

$$l = \frac{(S_B - S_{BY}) (A_B + 2\sqrt{A_1 A_B} + A_1)}{A_B (A_B + 2\sqrt{A_1 A_B})}, \quad (1.33)$$

где  $A_B$  — удельное сопротивление существующего водовода, вычисленное по формуле (1.26).

Если водовод из двух линий одинакового диаметра и длины усиливают трубопроводом с таким же удельным сопротивлением  $A_1 = m^2 A_B$ , то длину этого трубопровода находят по формуле

$$l = \frac{7,2(S_B - S_{BY})}{A_1} = \frac{1,8(S_B - S_{BY})}{A_B}. \quad (1.34)$$

В случае подачи увеличенного расхода воды потребителям путем установки более мощного насоса или большего количества насосов с известными характеристиками  $H_\phi$ ,  $S_\phi$  и прокладки дополнительной линии, сопротивление которой требуется определить, сначала вычисляют расчетное сопротивление усиленного водовода по уравнению

$$S_{\text{вн}} = \frac{S_{\text{в}} - \Delta H / Q_{\text{н}}^2 + S_{\text{ф}} - \varphi^2 S'_{\text{ф}} - S_{\text{к}} (\varphi^2 - 1)}{\varphi^2}, \quad (1.35)$$

где  $\Delta H = H_{\text{ф}} - H_{\text{ср}}$  — увеличение напора, развиваемого более мощным насосом.

Далее определяют сопротивление дополнительно прокладываемой линии по формуле (1.31) или длину этой линии по формуле (1.33).

Если известно сопротивление дополнительно прокладываемой линии, то проверяют возможность подачи расчетного расхода воды существующим насосом. Это требование будет выполнено, если фактическое сопротивление водовода, вычисленное по формуле (1.30), не будет превышать расчетного, определяемого по формуле (1.32).

#### 1.4.4. Восстановление пропускной способности водопроводных и канализационных трубопроводов

Одной из причин нарушения работоспособности трубопроводов являются коррозионные и минеральные (карбонатные) отложения и биологические обрастания внутренних поверхностей труб. Прочистка трубопроводов имеет как самостоятельное значение (восстановление пропускной способности), так является и обязательным предварительным этапом в технологическом процессе облицовки внутренних поверхностей труб. Наиболее часто используются *механические, гидравлические и гидромеханические* способы.

*Механический* способ прочистки трубопроводов заключается в проталкивании через трубу посредством троса и лебедки механического прочистного устройства (скребкового или манжетного снаряда, ерша и пр.). Одна из технологических схем механической прочистки стальных трубопроводов заключается в проталкивании скребкового снаряда при помощи тросов. Для введения снаряда в трубопровод в нем выполняют вырезы, доходящие до половины диаметра и длиной около 1,5 м. Вырезают трубопровод на концах захватки в существующем колодце или в специально отрытом котловане. Максимальная длина захватки составляет до 230 м. Прочистку трубопровода проводят до полного снятия отложений (до сплошного металлического блеска). Количество протаскиваний скребкового механизма зависит от прочности и толщины отложений и может достигать 5-6 раз. Взрыхленные и опавшие на дно трубы отложения удаляют с помощью манжетного снаряда. После прочистки трубопровода и удаления из него взрыхленных отложений через трубу протаскивается поролоновый поршень, который полностью удаляет остатки воды и отложений. Механический способ обеспечи-

вает высокое качество очистки внутренних поверхностей трубопроводов. Он является наиболее доступным, безопасным и экономичным.

Недостатком механического метода является то, что обрабатываемый участок должен быть относительно прямолинейным. Максимальный угол поворота трассы трубопровода в плане и по вертикали не должен превышать  $11^\circ$ .

*Гидравлический* метод очистки трубопроводов заключается в том, что разрушение и снятие отложений осуществляется водяной струей под высоким давлением. Удаление из трубы снятых с ее стенок отложений осуществляется водным потоком, имеющим скорость, достаточную для транспортирования образовавшегося шлама. Этот метод применяют для прочистки безнапорных канализационных трубопроводов.

*Гидромеханический* метод снятия отложений с внутренней поверхности трубопроводов отличается от механического лишь тем, что движение скребкового снаряда или других очистительных устройств осуществляется за счет создания необходимого давления воды сзади прочистного приспособления относительно его движения. Удаление снятых отложений происходит с помощью водного потока.

Достоинством гидромеханического метода является то, что прочистке доступны практически все внутренние поверхности трубопроводов. Прочистные устройства способны проходить обычные и сегментные колена, дукеры и задвижки. При этом эффект очистки не уступает механическому методу. Гидромеханический метод применяют для прочистки напорных трубопроводов.

В условиях плотной городской застройки с большим насыщением инженерных коммуникаций ремонт и замена трубопроводов традиционными методами с выполнением земляных работ являются проблематичными, очень дорогостоящими, отрицательно влияющими на городскую экологическую среду, а иногда и просто невозможными. В таких случаях применяют *бестраншейные* методы ремонта и восстановления.

В мировой практике наиболее распространены и эффективны следующие методы реконструкции трубопроводных систем.

1. **Облицовка внутренних поверхностей трубопроводов цементно-песчаным покрытием.** Сущность метода заключается в нанесении на внутренние поверхности трубопроводов цементно-песчаного раствора. Осуществляется это центробежным способом с помощью электрической метательной головки облицовочного агрегата, протаскиваемого внутри трубопровода посредством троса и лебедки. Толщина наносимого слоя покрытия зависит от диаметра труб. За один проход можно нанести слой толщиной 3–18 мм.



Цементно-песчаное покрытие обладает как *пассивным*, так и *активным* защитным эффектом от коррозии металла. Пассивный защитный эффект достигается за счет механической изоляции металлической стенки трубы слоем раствора. Активный защитный эффект заключается в том, что при гидратации цемента в порах возникает насыщенный раствор гидроксида кальция, рН которого составляет около 12,6. При таких условиях железо пассивируется за счет образования субмикроскопического покровного слоя из оксидов железа. Этот чрезвычайно тонкий пассивный слой механически изолирован цементным покрытием от протекающей воды, удерживается на месте и предотвращает дальнейшее окисление металла, т.е. коррозию.

Наряду с антикоррозионным защитным эффектом цементно-песчаное покрытие улучшает также и гидравлические характеристики трубопровода. Причиной этого является отсутствие коррозии и отложений в трубе, а также возникновение на поверхности покрытия скользкого гидрофильного (гелевого) слоя, образованного мельчайшими частичками глины и железомарганцевыми отложениями.

К числу достоинств рассматриваемого метода ремонта трубопроводов необходимо также отнести высокую экологическую безопасность и надежность цементно-песчаного защитного слоя, что весьма важно для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. Затвердевшее цементно-песчаное покрытие надежно герметизирует небольшие локальные поверхности в теле трубы, а также нарушенные стыковые соединения.

Данный метод применяют для бестраншейного ремонта напорных и безнапорных водопроводных и канализационных труб диаметром более 100 мм и выше без ограничений. Наибольшее распространение он получил для восстановления напорных металлических (стальных) трубопроводов.

Недостатком метода является то, что колена и отводы, а также вертикальные опуски и подъемы трубопроводов малых диаметров остаются практически недоступными для нанесения цементно-песчаного покрытия. Пожарные гидранты, хотя и временно, должны быть демонтированы. Работы могут выполняться только при положительных (более +5 °С) температурах окружающего воздуха.

В Москве на протяжении последних лет успешно применяют технологии и оборудование немецкой фирмы «Нидунг» и американской «Амерон».

**2. Облицовка внутренних поверхностей трубопроводов гибкими рукавами (чулочная технология).** Сущность данного метода заключается в том, что на внутреннюю поверхность ремонтируемого трубопровода наклеивается гибкий полимерный или стеклопластиковый рукав. В данном случае тонкая ткань рукава является всего лишь пассивной защитой внутренней поверхности трубы от воздействия на нее транспортируемой среды.

В безнапорных канализационных трубах она также герметизирует небольшие трещины в теле трубы и нарушенные стыковые соединения.

Схема заведения облицовочного рукава в ремонтируемый трубопровод показана на рис. 1.18. На наружную поверхность свободного конца трубопровода 2 натягивается облицовочный рукав 3, внутренняя поверхность которого по всей длине предварительно обработана специальным клеящим составом. Затем вручную на длину вытянутой руки облицовочный рукав выворачивается внутрь трубопровода и приклеивается к его внутренней поверхности. Дальнейшее продвижение рукава по трубопроводу осуществляется за счет подачи в образовавшиеся пазухи 4 через трубопровод 1 сжатого воздуха или воды под давлением. После полного протаскивания рукава и удаления воды (в случае ее использования) облицовочная поверхность трубопровода подвергается специальной обработке в зависимости от применяемого материала рукава и вида клеящего состава. Для быстрого и качественного отверждения клеящего состава как за рубежом, так и в отечественной практике широко используется подача в трубопровод пара под давлением.

Перед вводом облицованного трубопровода в эксплуатацию имеющиеся ответвления открываются изнутри трубопровода при помощи робототехнической установки с дистанционным управлением.

Достоинством метода является высокая степень проходимости гибких рукавов по трубам, т.е. практически все внутренние поверхности трубопровода доступны для облицовки данным методом. Облицовка внутренних поверхностей трубопроводов гибкими рукавами широко применяется для канализационных труб диаметром 100–800 мм. В случае использования рукавов, материал которых отвечает соответствующим санитарно-гигиеническим требованиям, этот метод может применяться и для облицовки трубопроводов систем хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В Москве на протяжении ряда лет применяется данный метод для облицовки канализационных трубопроводов. При этом используются как технологии, материалы и оборудование иностранных фирм, так и отечественная технология, разработанная НПО «Стеклопластик» совместно с ММП «Мосводоканал».

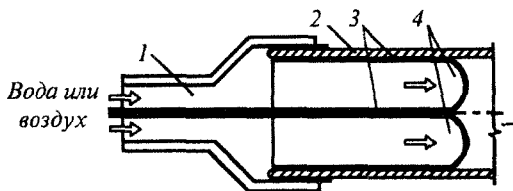


Рис. 1.18. Схема введения облицовочного рукава в ремонтируемую трубу: 1 – рукав для подачи воды; 2 – ремонтируемый трубопровод; 3 – облицовочный рукав; 4 – пазухи облицовочного рукава

**3. Введение труб, изготовленных из высокопрочного полиэтилена, способного сохранять память формы.** Идея метода заключается в том, что внутрь ремонтируемого трубопровода вводятся полиэтиленовые трубы предварительно уменьшенного диаметра или измененной формы поперечного сечения.

Предварительное уменьшение диаметра полиэтиленовой трубы производят путем нагрева ее до 70 °С и протягиванием через калибровочное устройство. После этого полиэтиленовую трубу вводят внутрь существующего трубопровода, предварительно тщательно очищенного. Остывая, полиэтиленовая труба достигает своего первоначального диаметра и плотно прилегает к внутренней поверхности ремонтируемого участка трубопровода.

В другом случае трубопровод большой длины из высокопрочного полиэтилена в заводских условиях термомеханическим способом деформируют таким образом, что его поперечное сечение приобретает U-образную форму, значительно уменьшаясь в размерах. После введения полиэтиленового трубопровода в старую трубу концы его обрезаются и перекрываются специальными запорными крышками. При подаче в этот трубопровод пара под давлением труба восстанавливает свою первоначальную круглую форму (эффект памяти трубы) и плотно прилегает к старой трубе-оболочке.

Как в первом, так и во втором случае введенный полиэтиленовый трубопровод имеет самостоятельное значение. Он не зависит от старого и сам способен воспринимать все внутренние и внешние воздействия.

Вскрытие отверстий для существующих подключений осуществляется робототехнической системой с дистанционным управлением.

В зарубежной практике ремонта трубопроводов данный метод чаще применяется для восстановления канализационных труб небольших диаметров (до 400 мм) и реже для трубопроводов водоснабжения.

**4. Прокладка нового трубопровода по трассе с разрушением старого.** Принцип этого метода заключается в том, что специальным дробящим снарядом производится разрушение (дробление) старого трубопровода. Остатки разрушенной трубы этим же снарядом с большим усилием вдавливаются в грунт, в результате чего образуется горизонтальная выработка круглой формы с уплотненными стенками, диаметр которой больше диаметра разрушенного трубопровода.

Конструкции дробящих снарядов позволяют с одинаковым усилием разрушать старые чугунные, стальные, асбестоцементные, керамические и пластмассовые трубы. В горизонтальную выработку одновременно с рабочим ходом дробящего снаряда последовательно вводится защитная стальная или поливинилхлоридная труба (кожух), через которую протягивают новую рабочую трубу (стальную или полиэтиленовую). Устройство

кожуха необходимо для защиты внешних поверхностей рабочих труб при их протаскивании.

Этот метод применяется для бестраншейной замены водопроводных и канализационных трубопроводов небольших диаметров.

#### **5. Введение полимерных труб меньшего диаметра («труба в трубе»).**

Сущность метода заключается в том, что в изношенный трубопровод вводятся новые полимерные трубы меньшего диаметра. Образовавшийся кольцевой зазор между новой и старой трубами заделывается различными составами. Применяется этот метод достаточно широко как за рубежом, так и в отечественной практике реконструкции самотечных канализационных сетей. Пропускная способность нового трубопровода может уменьшаться. Данный метод является, пожалуй, единственно возможным для реконструкции водоотводящих каналов не круглой формы (прямоугольных и пр.).

Удельный вес реализации указанных технологий бестраншейного ремонта трубопроводов в странах Европы примерно следующий: «труба в трубе» 68–70 %; «труба в трубе» с разрушением старого трубопровода 8–10 %; цементно-песчаная облицовка внутренней поверхности 6–8 %; «чулочная технология» 5–8 %; «технология U-лайнер» 2–4 %.

### **1.5. Реконструкция очистных сооружений природных вод**

Увеличение производительности станции водоподготовки за счет строительства дополнительных водоочистных сооружений требует значительных капитальных вложений. При этом происходит ступенчатый рост производительности, что не всегда приемлемо для существующих систем водоснабжения. Поэтому возникает необходимость в реконструкции сооружений и использовании интенсивных технологий.

Интенсификация работы очистных сооружений наряду с увеличением мощности водоочистной станции состоит также в улучшении качества очищаемой воды, повышении экономической эффективности, заключающейся в снижении себестоимости воды, экономии реагентов, материалов, электроэнергии, оборудования. Решают поставленные задачи путем применения новых более сложных и гибких технологических схем очистки воды; совершенствованием работы реагентного хозяйства в реагентных схемах очистки; повышением эффективности предварительной или первой ступени очистки; интенсификацией работы фильтровальных сооружений; использованием более рациональных способов и сооружений для дезодорации, обезжелезивания и обеззараживания воды.

### 1.5.1. Новые схемы очистки природных вод

За последние годы практически повсеместно отмечается интенсивное загрязнение водоисточников. В водоемы попадают химические загрязнения антропогенного происхождения: нефтепродукты, фенолы, пестициды, СПАВ, ионы тяжелых металлов, соединения азота и др. Барьерная роль традиционных очистных сооружений, построенных 15–20 лет назад, по отношению к таким загрязнениям незначительна.

Кроме того, наблюдается изменение качественного состава вод источников водоснабжения под действием климатических факторов. Замечаемое в последние годы потепление климата приводит к изменению температурного режима водохранилищ и естественных водоемов, к интенсификации процессов «цветения» воды, разложению органики и появлению гнилостных запахов, накоплению токсичного ила, снижению их самоочищающей способности.

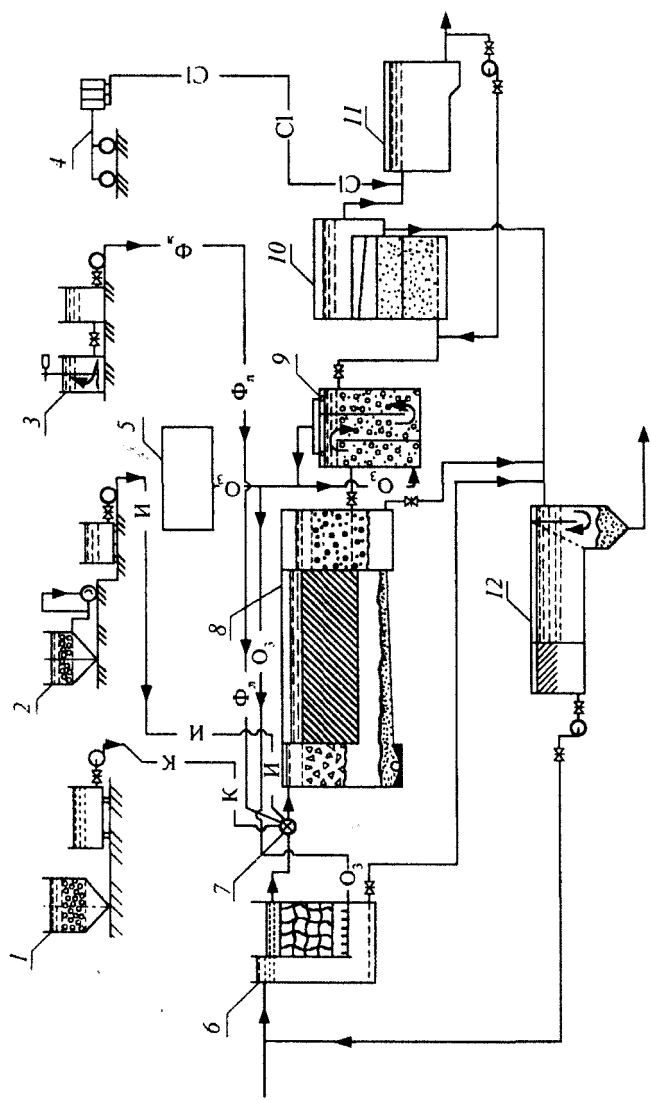
В северных районах России резкие похолодания, приводящие к длительным периодам ледостава, изменяют кислородный режим водоемов, приводят к осложнению в проведении процессов очистки цветных холодных вод, обладающих низким щелочным резервом.

Перечисленные выше антропогенные и климатические факторы воздействия на источники питьевого водоснабжения являются причиной снижения барьерной роли традиционных очистных сооружений водопровода. В сложившейся ситуации с учетом слаборазвитой отечественной отрасли по разработке и производству новых эффективных коагулянтов и флокулянтов существующие очистные сооружения не всегда в состоянии обеспечить необходимую санитарную защиту населения и требуемое по ГОСТ 2874-82, а тем более по СанПиН 2.1.4.559-96, качество питьевой воды.

С развитием строительной базы, освоением специфического технологического оборудования и производства необходимых реагентов и сорбентов в обозримом будущем на вновь строящихся и реконструируемых станциях водоочистки можно ожидать внедрения следующих основных технологических схем (рис. 1.19, а, б, в).

При реагентной обработке мутных, цветных вод с последующим их отстаиванием (или осветлением в слое взвешенного осадка), фильтрованием и обеззараживанием осуществляют дополнительное озонирование перед фильтрованием через зернистую загрузку (рис. 1.19, а).

При очистке маломутных цветных вод используют первичное озонирование с целью достижения флокулирующего эффекта и окисления органики перед традиционными сооружениями и вторичное озонирование для обеззараживания и дезодорации воды (рис. 1.19, б). Технологическая схема предусматривает включение в состав сооружений микрофильтров, контактных резервуаров для озонирования, скоровых фильтров или контактных осветлителей и резервуаров чистой воды.



a

Рис. 1.19. Технологическая схема очистки: а – мутных вод (начало)

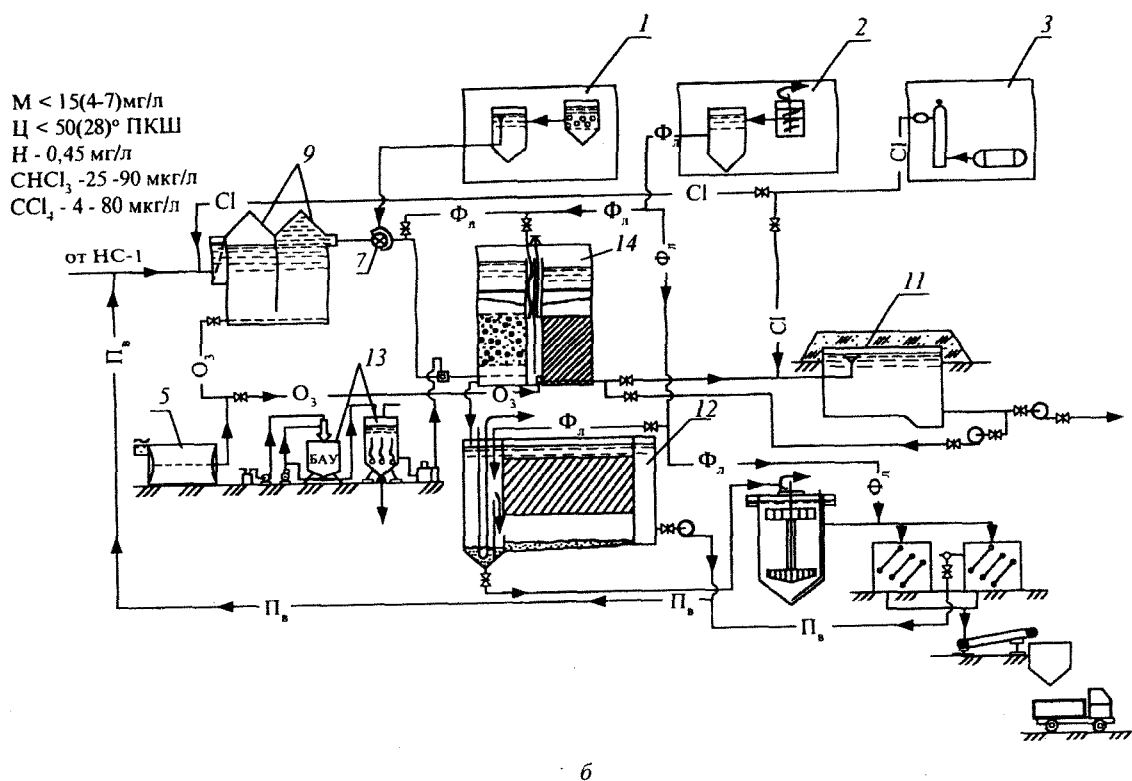


Рис. 1.19. Технологическая схема очистки: 6 – цветных вод (продолжение)

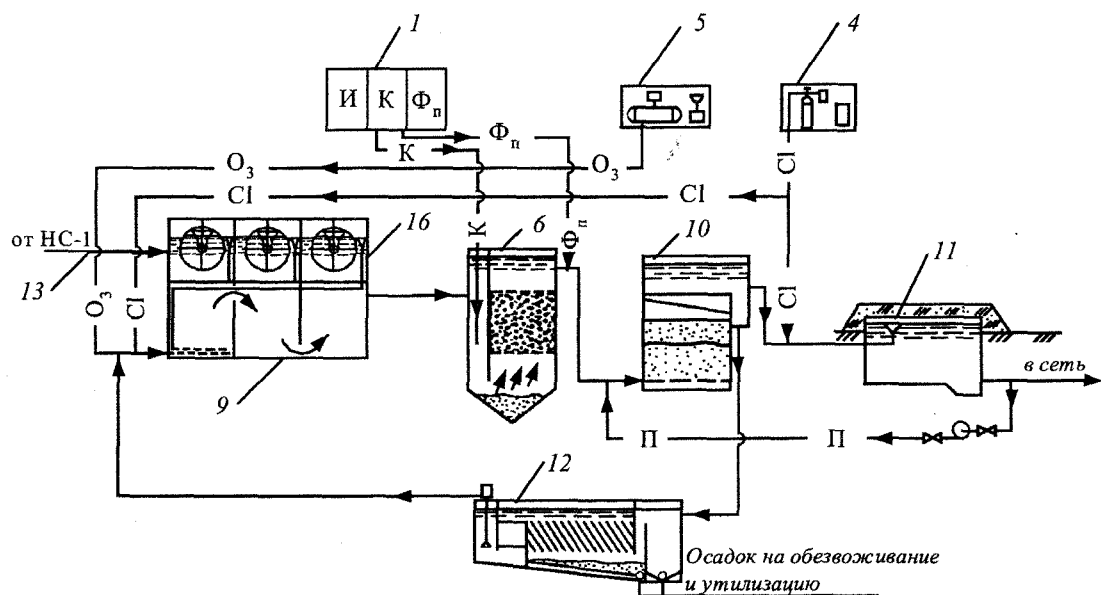


Рис. 1.19. Технологическая схема очистки: 6 – цветных вод, содержащих водоросли; 5 – озонаторная; 6 – биореактор; 7 – смеситель; 8 – комбинированное устройство (камера хлопьеобразования, тонкослойный отстойник, фильтр); 9 – реактор озонирования; 10 – двухслойный осветлительно-сорбционный фильтр; 11 – резервуар чистой воды; 12 – сооружения для осветления промывных вод; 13 – система для приготовления и ввода мелкогранулированного сорбента; 14 – двухступенчатый фильтр; 15 – сооружения для уплотнения и обезвоживания осадка; 16 – микрофильтры (окончание)

В южных регионах страны дополнительно в схему могут быть включены биореакторы с прикрепленной микрофлорой, образуемой в результате жизнедеятельности микроорганизмов при аэрации и биофильтрации воды через специальные насадки (рис. 1.19, в).

Обработка вод, содержащих антропогенные загрязнения, зависит от типа и свойств этих примесей, их комбинации в конкретных условиях объекта. Опыт работы с различными объектами показывает, что микроколичественные примеси извлекаются в основном на стадиях доочистки. При этом полярные и гидратированные органические вещества (в т.ч. фенольного ряда) легче поддаются деструкции озоном, а неполярные (в т.ч. углеводороды) легче извлекаются сорбцией.

Перспективными схемами очистки являются многоступенчатые технологии, основанные на последовательном удалении примесей: вначале грубодисперсных (в процессах осветления и фильтрации с предозонированием и коагуляцией), а затем — основной массы растворенных токсичных компонентов (деструкцией озоном или сорбцией, порошкообразными сорбентами), микрокомпонентов. При необходимости проводится дополнительная сорбция на активных микропористых углях в режиме фильтрации.

Особенностью ступени вторичного озонирования является нахождение условий ее проведения с точки зрения целевой деструкции именно токсичных компонентов, что достигается подбором pH, физической активацией и другими методами.

Стадия доочистки на гранулированных активных углях функционирует оптимально при соответствии пористой структуры сорбента и стереохимических параметров примесей. Вследствие присутствия в воде различных токсинов высокий эффект очистки достигается часто лишь при совместном применении двух или трех типов сорбентов (в одном фильтре-адсорбере).

Станции малой производительности (примерно до 5000 м<sup>3</sup>/сут) имеют в составе электродиализные, обратноосмотические или ионообменные установки.

Каждая из описанных технологических схем выбирается на основании тщательного изучения специфических свойств загрязняющих ингредиентов и их реакции на воздействие окислителей, сорбентов, коагулянтов и флокулянтов. При этом анализируются технико-экономические показатели.

Особенностью предлагаемых схем в условиях действующих очистных сооружений является использование биореактора — фильтра с носителями прикрепленных микроорганизмов в виде плавающей волокнисто-пенопластовой загрузки. Экономическая и экологическая целесообразность таких биотехнологий на первой ступени водообработки заключается в экономии окислителей, коагулянтов и снижении опасности возрастания до ПДК хлорорганических ингредиентов при первичном хлорировании воды.



**Обработка воды окислителями и коагулянтами.** Одними из наиболее опасных веществ для здоровья человека являются летучие хлорорганические соединения (ЛХС). Появление их в питьевой воде объясняется загрязнением источников водоснабжения сточными водами и применением недостаточно обоснованного в каждом конкретном случае режима хлорирования воды на станциях водоподготовки.

Комплекс мер, направленных на обеспечение минимума ЛХС в питьевой воде, включает тщательное соблюдение требований к зонам санитарной охраны водоисточников, предварительное безреагентное осветление воды и задержание фито- и зоопланктона непосредственно в месте водозабора и на очистных сооружениях, изменение режима хлорирования воды, ее предварительную коагуляцию, замену хлора озоном, перманганатом калия, хлораминами.

Назначение доз хлора только по соображениям дезинфекции воды (до 2 мг/л) и применение дробного хлорирования позволяют снижать концентрацию ЛХС в процессе водоподготовки на 15–30 %. Такой же и более высокий эффект может быть достигнут предварительным коагулированием и осветлением воды. Коагулирование позволяет удалять из воды СПАВ.

В случаях, когда нельзя отказаться от предварительного хлорирования воды, целесообразна замена хлора озоном, перманганатом калия, хлораминами. При соотношении аммиака и хлора 1:3 концентрация ЛХС уменьшается на 60–80 %.

В системах оборотного водоснабжения для очистки природных вод, загрязненных фенолами, фосфорорганическими инсектицидами, цианидами, щелочными металлами и другими органическими соединениями, целесообразно применение двуокиси хлора. В отличие от озона, двуокись хлора можно получать в более высоких концентрациях как в газовой среде, так и в водных растворах, устойчивых в течение длительного времени. Окисление фенолов двуокисью хлора не вызывает образования более токсичных и пахнущих хлорфенольных соединений и хинонов.

Освоенными методами очистки воды, позволяющими повысить эффективность работы станций на водах, подвергшихся антропогенным и климатическим воздействиям, и применяющимися на практике, являются раздельная или комбинированная обработка воды озоном и хлором в сочетании с сорбционной водоочисткой на активированных углях.

Озонирование воды позволяет достаточно эффективно окислять канцерогенные органические вещества, пестициды, железо, марганец, удалять неприятные привкусы и запахи. В условиях обработки цветных маломутных вод озонирование на протяжении 9–10 месяцев в году зачастую оказывается единственным практичным методом, позволяющим разрушить до 20 % органических веществ и отказаться от применения общепринятых дорогостоящих реагентов и технических средств для их приготовления.

Обычно дозы озона назначают в пределах 1–5 мг/л, время контакта с водой до 10–20 мин. Продолжительность предварительного озонирования назначают в пределах 10 мин при дозе до 1,5 мг/л.

Как показал опыт, применение озонирования воды позволило повысить, по сравнению с хлорированием, эффект обесцвечивания в 2–2,5 раза, устранить запахи в 5 раз при неизменном рН, щелочности, общей минерализации. Доказана целесообразность последовательной обработки воды озоном и хлором. Последующее хлорирование воды приводит к увеличению срока действия обеззараживания и более глубокому разрушению органического вещества в природных водах.

**Аэрирование воды.** Условием использования этого технологического приема является предварительное удаление из воды высокомолекулярных органических соединений, способных после аэрации образовывать ЛХС после обеззараживания воды хлором. При начальной концентрации до 0,1 мг/л ЛХС для 50–70 % их удаления требуется до 6 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды. Исследованиями было установлено, что применение аэрирования после коагулирования высокомутных (2000 мг/л) цветных (до 40 град. ПКШ) вод позволяет увеличить десорбцию углекислоты по сравнению с естественным процессом в 4 раза и снизить дозу коагулянта на 30–40 %.

При обработке более цветных вод (до 80 град. ПКШ) по схеме неполного осветления аэрирование в количестве 10 % от обрабатываемой воды снижает потребный расход коагулянта на 25 % при одновременном повышении эффекта осветления и обесцвечивания воды.

По данным зарубежных авторов, эффективность удаления ЛХС аэрацией достигает 80–90 %. В случае загрязнения хлоргалогенными веществами прозрачных подземных вод рекомендуется располагать после резервуаров чистой воды дегазаторы в виде поверхностных насадок. Поскольку при этом снижается концентрация свободного активного хлора, то для обеспечения требуемой санитарной защиты воды в конечных удаленных участках водопроводной сети производят вторичное хлорирование воды небольшими дозами.

**Сорбция на активированных углях.** Опыт очистки природных вод, сильно загрязненных бытовой и промышленной канализацией, подтверждает целесообразность использования технологической схемы, основанной на последовательном применении озонирования, фильтрования через инертную зернистую и сорбционную биологически активную угольную загрузки. Озонированием достигается дестабилизация коллоидов и окисление органических соединений. Фильтрование через инертную загрузку обеспечивает задержание основной массы продуктов окисления озоном, а биологически активная угольная загрузка адсорбирует оставшуюся часть органики.

При такой технологии озон разрушает длинные молекулы растворенных комплексных органических соединений с образованием большого числа

микромолекул, которые в последующем сорбируются на поверхности и внутри пор гранул активированного угля. Преимущество такой схемы состоит еще и в том, что биоокисление органики в порах угольной загрузки повышает срок ее эксплуатации на 15–20 %. За рубежом известен положительный опыт применения аналогичной технологии для очистки загрязненных подземных вод. Предварительное озонирование дозой до 0,7 мг/л и последующее фильтрование воды через кварцевый песок толщиной слоя 1 м и активированный уголь толщиной слоя до 0,7 м позволяют удалить из воды аммонийный азот с исходной концентрацией до 3 мг/л, фенол (6,5×10000 мг/л), окислить детергенты (0,12×0,001 мг/л) и марганец, неприятные запахи и привкусы.

Исследования процесса фильтрования водных растворов, содержащих органические соединения, показали, что адсорбция на активированном угле целесообразна на заключительной стадии технологической схемы. Наиболее приемлемым по адсорбционной емкости, достигающей по отдельным компонентам от 2 до 8 %, является уголь КАД-йодный. Регенерация стационарного слоя угля паром при температуре +110–130 °С на 80–90 % восстанавливает его первоначальную адсорбционную емкость. Конструктивно сорбционную очистку на активированных углях реализуют в виде статического неподвижного, псевдоожиженного или намывного слоев различной толщины. Имеется опыт сорбционной очистки при дозировании в воду угольных порошков. При удалении органических соединений из бикомпонентных растворов предпочтение отдают супермикропористым углям. Если в природных водах содержатся органические вещества, значительно различающиеся молекулярной массой и адсорбционной способностью, то сначала осуществляют сорбционную очистку воды на мезопористых сорбентах, затем на микропористых, удаляющих низкомолекулярные соединения.

Процесс сорбции на активных углях оказывается, в случаях наличия в воде специфических пестицидов (ГХЦГ, симазина, токсифена), чуть ли не единственным и надежным методом очистки. Для этих целей используют уголь БАУ, КАД-йод, ОУ-Аш.

При периодическом появлении пестицидов в природных водах или в случаях, когда ставится задача частичного их удаления, предпочтение отдают дозированию порошкообразных углей в трубопровод после насосной станции первого подъема и перед фильтрами с общими дозами до 5–12 мг/л. Такой технологический прием позволяет снизить расход пылевидного угля почти в 2,5 раза. При стабильном содержании пестицидов в обрабатываемых водах целесообразнее проводить их адсорбцию на фильтрах со стационарным фильтрующим слоем из активированных углей. При толщине слоя гранулированного угля КАД до 2 м и скорости фильтрования воды до 20 м/ч пестициды ГХЦГ эффективно удаляются в течение 30 сут, симазин – в течение 24 сут. Оптимальный режим работы сорбционных фильтров зависит от клас-

са находящихся в воде пестицидов, их специфичных свойств и принятой совместной технологии очистки воды.

**Биологическая нитрификация.** Одним из распространенных загрязнителей природных вод, вызванным антропогенными факторами, является аммонийный азот, легко усваиваемый живыми организмами.

По рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), концентрация нитрит-ионов в питьевой воде не должна превышать 1 мг/л. По требованиям ГОСТ 2874-82, допустимая концентрация нитратов составляет 45 мг/л по  $\text{NO}_3$ . Часто приходится удалять из воды аммонийный азот. В подземных водах высокое содержание аммонийного азота сопровождается зачастую присутствием сероводорода, агрессивного диоксида углерода, марганца, железа.

Разработанный в НИИ «Водгео» метод *биологической нитрификации* с использованием реакторов биохимического окисления и скорых фильтров позволяет, наряду с перечисленными выше ингредиентами, частично удалять фенолы, ионы тяжелых металлов, метан, нефтепродукты, ПАВ, органические вещества. Суть метода состоит в фильтровании воды снизу вверх через слой щебня, подвергающегося одновременно барботажу воздухом, а затем фильтровании на обычных скорых фильтрах. Созревание микрофлоры в виде биопленки из активного ила происходит в течение 2–4 недель в зависимости от качества исходной воды. Результаты промышленных испытаний данной технологии подтвердили удаление из подземных вод аммонийного азота от 3,3–4,0 мг/л до 0,05–0,7 мг/л; сероводорода – от 7–12 мг/л до полного отсутствия; окисляемости от 2–4 мг/л до 0,5–0,6 мг/л. Бактериальная флокуляция бактерий и их работа объясняются и накоплением внеклеточных полимеров (полисахаридов, белков, кислот ДНК и др.). Способность ила к флокуляции усиливается с увеличением его возраста и концентрации кислорода в воде, уменьшением нагрузок на ил.

**Удаление нефтепродуктов.** Нефтепродукты вызывают резкое ухудшение органолептических свойств воды, оказывают вред на здоровье людей и осложняют глубокую последующую очистку воды для нужд промышленных предприятий на ионообменных, электродиализных и обратноосмотических установках.

Исследованиями, выполненными в НИИ «Водгео», было установлено, что традиционная технологическая схема очистки воды на коммунальных и промышленных водопроводах позволяет снизить содержание нефти в воде на 60–70 % при условии увеличения расхода сернокислого алюминия на 10–50 %. Перспективным в таких случаях является метод *напорной флоатации* с предварительной обработкой воды сернокислым глиноземом, полиакриламидом и насыщением воздухом не менее 10 % обрабатываемой воды. Последующая сорбция воды после коагулирования, отстаивания

и фильтрования ее через зернистую инертную загрузку позволяет обеспечить надежную эффективность очистки от нефти до 0,01–0,1 мг/л. Одновременно с этим можно обеспечить удаление СПАВ с концентрацией в исходной воде до 1,5 мг/л. Для станций небольшой производительности (до 1000 м<sup>3</sup>/сут) экономически выгодной может оказаться технологическая схема, основанная на электрокоагуляции-флотации с последующим отстаиванием воды в тонком слое и фильтрованием через зернистую инертную и активную сорбционную загрузку.

В качестве сорбентов, помимо углей, определенный интерес представляют природные цеолиты (клиноптилолиты), сорбирующие также ионы тяжелых металлов, радионуклиды и искусственные сорбенты, получаемые из слоистых алюмосиликатов (каолинитов) с добавкой карбоната магния путем термического обжига гранулята в печах кипящего слоя при температуре +95 °С. Данный сорбент эффективно удаляет из воды также цветность, ионы тяжелых металлов, радионуклиды. В отличие от природных цеолитов, адсорбент из каолинита и карбоната магния, используемый в фильтрах в виде гранул диаметром 0,3–1,5 мм, обладает большей продолжительностью защитного действия. Регенерация его 2-3%-м раствором сульфата магния в течение 30–40 мин приводит к восстановлению до 75 % от первоначальных адсорбционных свойств.

В институте коллоидной химии и химии воды АН Украины на основе смеси монтмориллонита и палигорскнита получен угольно-минеральный сорбент (УМС). Технологические исследования по очистке нефтесодержащих вод по трехступенчатой схеме показали, что слой УМС толщиной 0,1 м из зерен диаметром 0,5–0,6 мм обеспечивал снижение количества нефтепродуктов с 10 мг/л до 0,1–3,5 мг/л в течение 6,5 ч. Его нефтеемкость составила 0,55 г/г, по сравнению с антрацитом – 0,20 г/г и активированным углем АГ 3–8 г/г.

С использованием процессов озонирования и сорбционной фильтрации, обеспечивающих глубокую очистку воды, ЦНИИЭП инженерного оборудования запроектировал очистные сооружения производительностью 20, 50 и 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут, которые могут быть использованы как при реконструкции существующих, так и при вновь строящихся очистных станциях. Кроме того, разработанные сооружения могут быть использованы для очистки воды в специфических условиях, например, озонаторные установки для удаления железа и марганца.

В соответствии с технологической схемой (рис. 1.20) исходная вода поступает в контактную камеру первичного озонирования, первое отделение которой выполняет функции воздухоотделителя. В камере в результате контакта воды с озоном происходит процесс окисления органических загрязнений и частичное обеззараживание воды. Далее вода поступает в основные очистные сооружения, предусмотренные типовыми проектами,

в вихревой смеситель (предварительно вводятся реагенты: коагулянт, флокулянт, полиакриламид и др.), проходит камеры хлопьеобразования, горизонтальные отстойники или осветлители с взвешенным осадком, скорые песчаные фильтры.

Осветленная вода подается затем в контактную камеру вторичного озонирования, совмещенную с промежуточной емкостью. Вторичное озонирование позволяет осуществить более глубокое окисление оставшихся органических веществ. Кроме того, повышается эффективность последующей сорбционной очистки, увеличивается продолжительность использования активного угля до регенерации, а также улучшаются органолептические показатели очищенной воды. Далее вода направляется на сорбционные угольные фильтры, обеззараживается хлором, поступает в резервуары чистой воды и насосами второго подъема подается потребителям.

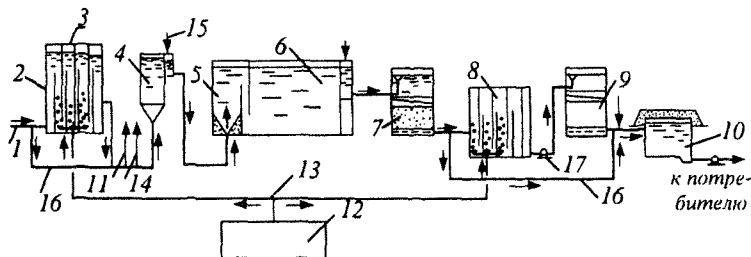


Рис. 1.20. Принципиальная технологическая схема очистки воды с применением озонирования и сорбционной фильтрации: 1 – подача исходной воды; 2 – воздухоотделитель; 3 – контактная камера первичного озонирования; 4 – смеситель; 5 – камера хлопьеобразования; 6 – отстойник; 7 – скорый песчаный фильтр; 8 – контактная камера вторичного озонирования; 9 – сорбционный угольный фильтр; 10 – резервуар чистой воды; 11 – подача хлора (постоянная или периодическая); 12 – озонаторная установка; 13 – подача озоновоздушной смеси; 14 – ввод коагулянта; 15 – ввод флокулянта; 16 – обводные трубопроводы; 17 – насосная камера подкачки

Запроектированные и типовые сооружения размещаются на общей площадке (рис. 1.21). В зависимости от качества исходной воды возможны варианты технологической схемы очистки, например: только с первичным озонированием; только с вторичным озонированием; только с сорбционной очисткой и т.п.

Технико-экономические расчеты показывают, что стоимость строительства запроектированных сооружений и коммуникаций составляет порядка 100 % стоимости очистных станций по типовым проектам. При этом основные затраты приходятся на стоимость озонаторного оборудования и сорбционной угольной загрузки (соответственно в среднем 27 и 35 % общей стоимости строительства). В то же время себестоимость обработки воды на

станции в целом с учетом снижения расхода основных реагентов увеличивается лишь на 30–40 %.

При применении окислительно-сорбционной технологии очистки воды, учитывая ее высокую стоимость, особое значение имеет проведение предпроектных технологических изысканий, обеспечивающих оптимальную схему очистки и наиболее экономичный режим эксплуатации.

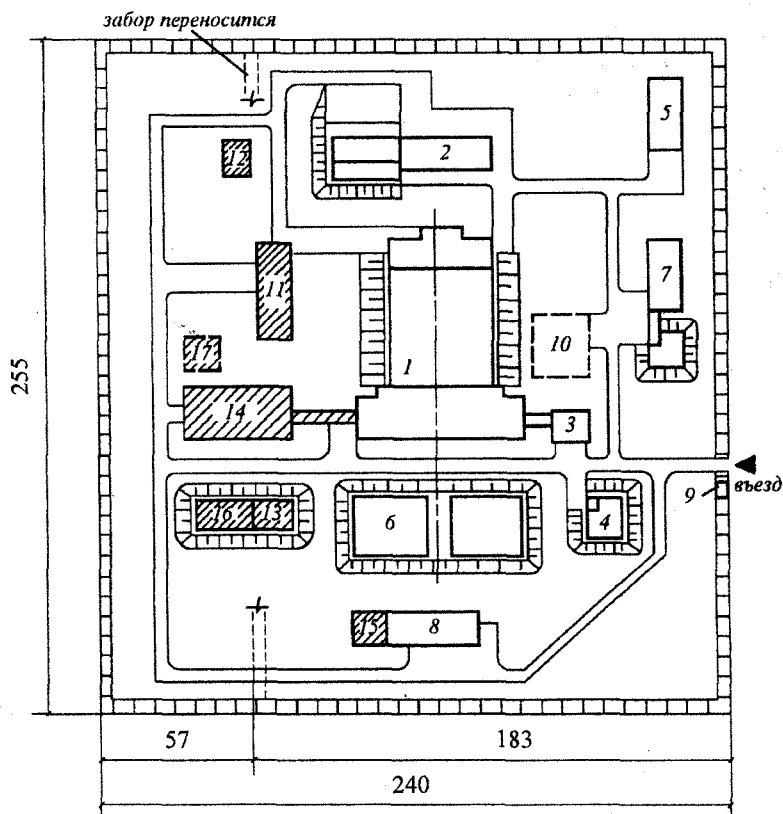


Рис. 1.21. Генеральный план площадки станции очистки воды: 1 – блок входных устройств, отстойников и фильтров; 2 – реагентное хозяйство; 3 – служебный корпус; 4 – сооружения по обороту промывной воды фильтров; 5 – хлораторная; 6 – резервуары чистой воды; 7 – сооружения для обработки осадка отстойников; 8 – насосная станция второго подъема; 9 – проходная; 10 – место песковой площадки, здания и сооружения, проектируемые дополнительно; 11 – озонаторная установка; 12 – контактная камера первичного озонирования; 13 – контактная камера вторичного озонирования; 14 – блок сорбционных угольных фильтров; 15 – насосная камера подкачки; 16 – промежуточный резервуар; 17 – место площадки для угля

При содержании в воде значительных количеств железа ( $>15$  мг/л), марганца ( $>0,3$  мг/л) для более эффективного их окисления рекомендуется применять озонирование. Оптимальная доза озона определяется отдельно для каждого водосточника.

На рис. 1.22, а представлен вариант очистки подземной воды с предварительным озонированием и последующим фильтрованием на фильтрах с песчаной загрузкой. Этот метод может быть применен при небольших концентрациях трудноокисляемых соединений железа (до 15 мг/л) и марганца (до 1 мг/л) в подземной воде. При повышенных концентрациях марганца (до 4 мг/л) и железа (более 15 мг/л) целесообразно применять двух-этапную очистку воды (рис. 1.22, б): на первом этапе удаляется железо с помощью упрощенной аэрации и фильтрования на песчаном фильтре, на втором этапе проводится окисление марганца озоном до нерастворимых соединений (что достигается при оптимальной дозе озона) и последующее их удаление фильтрованием на второй ступени песчаных или угольных фильтров.

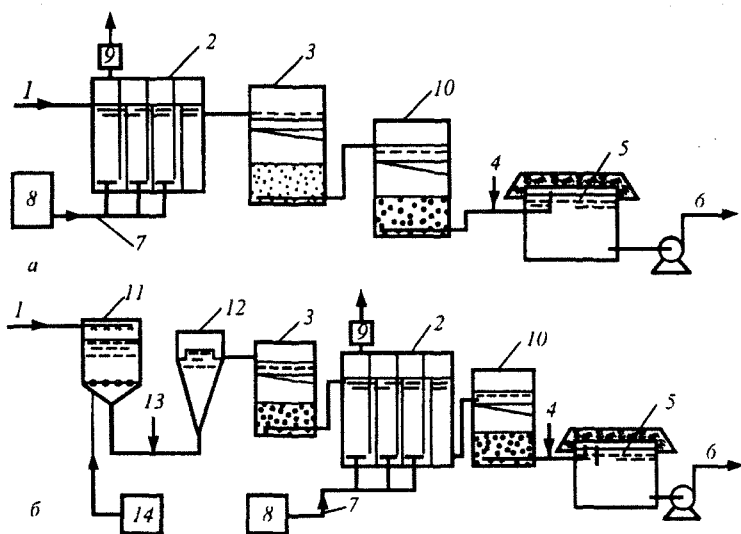


Рис. 1.22. Схема очистки подземных вод от соединений железа, марганца и органических соединений: а – при небольших концентрациях марганца (до 0,6 мг/л); б – подача очищенной воды потребителю; 1 – подача подземной воды; 2 – контактная камера; 3 – песчаный фильтр; 4 – подача хлорреагента; 5 – резервуар чистой воды; 7 – подача озонородной смеси; 8 – блок подготовки воздуха и синтеза озона; 9 – аппарат каталитического разложения озона; 10 – угольный фильтр; 11 – дегазатор-аэратор; 12 – смеситель; 13 – подача коагулянта (в случае необходимости); 14 – турбовоздуходувка



Для рассмотренных выше случаев сорбционная ступень очистки на фильтрах с активным углем необходима при содержании в воде повышенных концентраций органических загрязнений природного или антропогенного происхождения, когда схемы с использованием озонирования не обеспечивают требуемого качества питьевой воды.

### 1.5.2. Реагентное хозяйство

Для интенсификации процесса осветления и обесцвечивания в обрабатываемую воду вводят растворы коагулянтов. Наибольшее распространение из коагулянтов получил очищенный и неочищенный сернокислый алюминий. В то же время более высокими коагулирующими свойствами обладают железосодержащие коагулянты – сернокислое и хлорное железо. Однако из-за высокой коррозионной способности растворов, необходимости тщательного контроля за дозой реагента, коагуляции при более высоких рН соли железа в технологических процессах осветления и обесцвечивания широко не применяют. Но, используя смешанный алюможелезный коагулянт, учитывают преимущества и снижают недостатки железных и алюминиевых коагулянтов. Рекомендуется принимать сернокислый алюминий и хлорное железо в соотношении 1:1 (по массе), что соответствует 1 т хлорида железа к 3 т сернокислого алюминия. В каждом конкретном случае это соотношение можно изменять, но не превышать соотношения 1:2. Вода, обработанная смешанным коагулянтом, не дает осадка и более полно осветляется уже в отстойниках, хлопья осаждаются равномерно, уменьшается расход реагентов. Составные части смешанного коагулянта можно вводить отдельно или смешав раствор.

Для интенсификации процесса коагуляции используют *фракционированное, концентрированное и прерывистое* коагулирование.

При *фракционированном* коагулировании раствор коагулянта вводят двумя или тремя последовательными порциями с интервалом времени между вводами доз от 30–60 до 90–120 с, с делением общей дозы коагулянта на две примерно одинаковые порции или второй порции на 65–75 % меньше первой. После введения первой порции желательное интенсивное перемешивание для диспергирования продуктов гидролиза. Такое коагулирование позволяет на 6–20 % увеличить плотность осадка и степень очистки воды.

Концентрированное коагулирование заключается в дозировании коагулянта только в поток, составляющий 30–50 % всего расхода. Последующее смешение коагулированного потока с общим обеспечивает ускоренное хлопьеобразование в одной части воды и удаление взвеси из коагулированной воды после смешения общих ее частей. Применяя этот способ, можно сэкономить до 20–30 % коагулянта.

При прерывистом или периодическом коагулировании увеличивается продолжительность фильтроцикла на фильтрах или контактных осветлителях с экономией коагулянта на 30–40 %. Метод заключается в чередовании периодов ввода коагулянта повышенными дозами и полным прекращением подачи коагулянта. При этом период коагулирования принят ориентировочно 0,5–3 ч, а отношение периодов ввода и прекращения подачи коагулянта составляет от 3:1 до 0,3:1.

Уменьшение времени хлопьеобразования при низкой температуре воды и снижение дозы коагулянта могут быть достигнуты введением замутнителей. Рекомендуется вводить в воду высокодисперсную глинистую взвесь в количестве 10 мг/л или скоагулированный осадок в количестве 0,4–0,6 от дозы коагулянта. Практически используются промывные воды фильтров и осадок отстойников и осветлителей. Рекомендуется сначала вводить промывную воду в количестве 5–25 % от исходной воды, а затем коагулянт. Такой прием позволяет снизить на 25–30 % расход коагулянта и уменьшить время пребывания обрабатываемой воды в отстойниках, флотаторах и осветлителях.

Для достижения высокого эффекта осветления рециркулируемый осадок следует вводить в воду за 15–30 с до введения коагулянта. Осадок рекомендуется применять при pH исходной воды не ниже 7. Возраст осадка не должен превышать двух суток с отбором его из шламоотводящих труб горизонтальных отстойников.

К физическим методам интенсификации процесса коагуляции относится аэрирование, наложение электрического и магнитного полей, воздействие ультразвуком.

Введение сжатого диспергированного воздуха в обрабатываемую воду в смеситель после добавления коагулянта с некоторым разрывом во времени позволяет удалить из зоны коагуляции образующийся при распаде угольной кислоты диоксид углерода. Своевременное удаление свободной углекислоты из сферы формирования микрохлопьев значительно ускоряет дальнейший ход коагуляции. Конструкции трубчатых аэраторов представлены на рис. 1.23.

При невозможности осуществления пробной обработки речной воды расчетное значение дозы коагулянта и процента аэрирования воды для проектируемых водоочистных сооружений ориентировочно можно принять по табл. 1.2. В этом случае интервал между вводом коагулянта и подачей диспергированного воздуха в среднем принимают равным 15 с.

Аэрирование воды допускается осуществлять в открытых смесителях гидравлического типа (вихревых и перегородчатых), дополнительных сооружений не требуется.

Раствор коагулянта следует вводить в подающий трубопровод или при входе воды в смеситель, а диспергированный воздух – непосредственно

в смеситель. Время аэрирования равно времени пребывания в смесителе. Аэраторы в смесителях располагают на глубине не менее 3 м от поверхности воды.

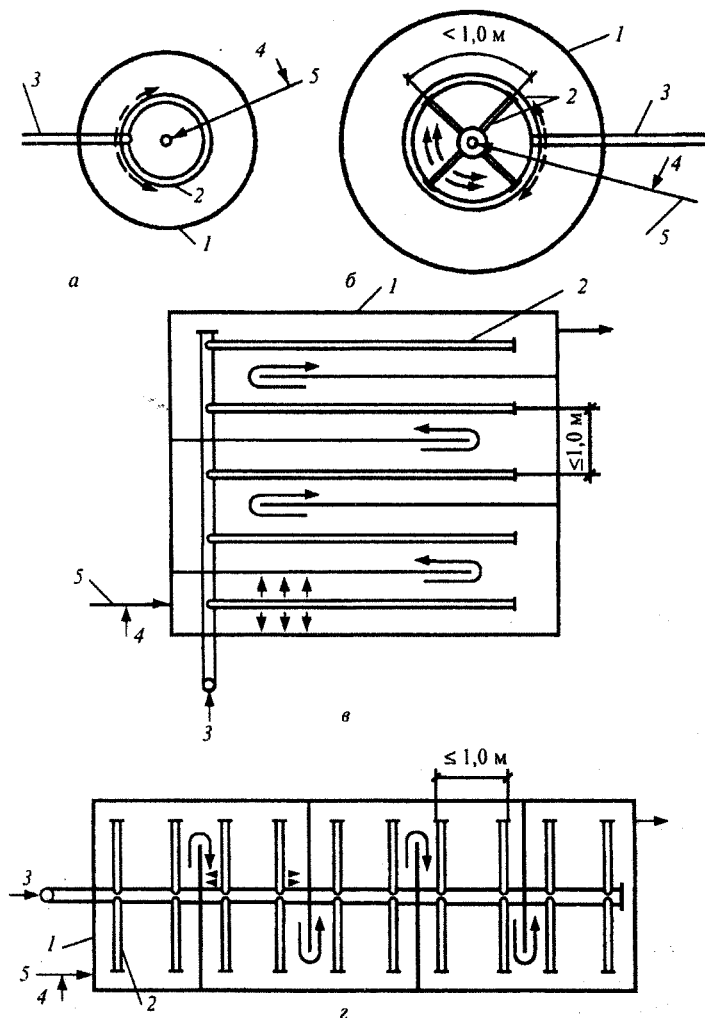


Рис. 1.23. Трубчатые аэраторы: а, б – при смесителях вихревого типа; в, г – при смесителях перегородчатого типа; 1 – корпус смесителя; 2 – дырчатые ответвления для распределения воздуха; 3 – магистраль (коллектор) для подачи воздуха; 4 – подача коагулянта; 5 – подача воды

Во избежание подсоса воздуха в трубопровод, отводящий воду из смесителя, водосборные лотки должны работать с подогревом (открытый перелив исключается), над трубопроводом необходимо предусматривать отражательный щит. Наилучшим вариантом является применение водосборных лотков с затопленными окнами. Не требуется устройство самостоятельного воздухоотделителя после смесителя-аэратора. Схема трубчатого аэратора зависит от конструкции смесителя и условий его эксплуатации.

Таблица 1.2

| Мутность воды, мг/л | Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л |                | Расход воздуха в зависимости от расхода воды, % |
|---------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
|                     | Согласно СНиП 2.04.02-84*                                 | С аэрированием |                                                 |
| До 100              | 25-35                                                     | 20-30          | 10                                              |
| 100-200             | 30-40                                                     | 25-30          | 15                                              |
| 200-400             | 35-50                                                     | 25-40          | 20                                              |
| 400-600             | 50-60                                                     | 35-45          | 20                                              |
| 600-800             | 60-70                                                     | 40-50          | 25                                              |
| 800-1000            | 70-80                                                     | 50-60          | 30                                              |

*Примечание.* При обработке цветных вод расход воздуха, %, нужно принимать, при цветности воды, град: до 40-10, 40-60-15, 60-80-20.

Для обеспечения равномерности распределения воздуха дырчатые трубы аэратора располагают строго горизонтально. На чертеже (рис. 1.23) приведены схемы трубчатых аэраторов в вихревых и перегородчатых смесителях. На рис. 1.23, а представлен кольцевой трубчатый аэратор, который следует применять для смесителей вихревого типа. При больших размерах сечения смесителя (в плане) целесообразно кольцевую трубу дополнить радиальными трубами (рис. 1.23, б). Схемы в и г применяют при устройстве аэраторов в перегородчатых смесителях. Аэратор в перегородчатых смесителях надлежит выполнять в виде коллектора с ответвлениями. Расстояния между ответвлениями следует принимать не более 0,7-1 м.

Аэраторы в перегородчатых смесителях следует располагать на подставках высотой 0,1-0,15 м от дна, а в вихревых смесителях - в конической его части на высоте 1,5-2 м над входным отверстием. Наименьшая высота расположения аэратора в вихревых смесителях принимается при наклоне стенок нижней части, равном 45°. Отверстия в трубах аэратора просверливают диаметром 3-4 мм по одной или двум образующим с постоянным шагом.

Все отверстия должны быть направлены вниз по вертикальной оси или под углом 45° к ней. Для предотвращения слипания пузырьков минимальное расстояние между отверстиями (в осях) должно быть не менее 10 диаметров распределительной трубы.

Расчетные скорости движения воздуха следует принимать: на магистральном трубопроводе 10–12 м/с; в начале дырчатых ответвлений 8–10 м/с; на выходе из отверстий 20–30 м/с. Заданные скорости обеспечивают работу всех отверстий аэратора в струйно-барботажном режиме и достаточно эффективную работу аэратора. Неравномерность распределения воздуха по всей поверхности смесителя не превышает 15–20 %.

Для обеспечения эффективности аэрирования интенсивность аэрации следует принимать равной 70–80 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч). К физическим методам интенсификации коагуляции относится наложение электрического и магнитного полей, воздействие ультразвуком и ионизирующее излучение, аэрирование.

Наиболее перспективно применение аэрирования и магнитной обработки раствора коагулянта на станциях средней и высокой производительности. Своевременное удаление свободной углекислоты из сферы формирования микрохлопьев путем аэрирования значительно ускоряет дальнейший ход коагуляции. Аэрирование в количестве 10–30 % от расхода обрабатываемой воды позволяет снизить расход коагулянта на 25–30 % и улучшить качество обработки воды.

Действие магнитного поля способствует уменьшению структурно-механической гидратации и потенциала частиц,  $\epsilon$ . Емкость гидроксидов коагулянтов по отношению к гуминовым веществам возрастает на 30–40 %. При обработке вод, содержащих минеральные взвеси, магнитная обработка позволяет увеличить плотность и гидравлическую крупность хлопьев скоагулированной взвеси, повысить производительность водоочистных сооружений 1-й ступени и снизить мутность осветленной воды. Магнитная обработка цветной и железосодержащей воды увеличивает плотность коагулированной взвеси и снижает в 2–8 раз остальные концентрации примесей. В целях интенсификации коагуляции рекомендуется омагничивать воду за 10–60 с до ввода коагулянта, скорость движения воды в рабочем зазоре магнитного аппарата поддерживать равной 1 м/с, количество знакопеременных магнитных контуров в генераторе должно составлять 4–6, длительность омагничивания 0,6–1 с. Возможно омагничивание лишь части обрабатываемой воды с последующим ее смешением до ввода коагулянта с остальной водой. Улучшить ход коагуляции можно также магнитной обработкой раствора коагулянта. При этом эффект активации раствора зависит от напряженности магнитного поля. Расход электроэнергии при омагничивании 1 м<sup>3</sup>/ч воды составляет 5–8 Вт·ч.

### 1.5.3. Смешение реагентов с водой

При коагулировании примесей воды необходимо быстрое и равномерное распределение реагентов в ее объеме для обеспечения максимального контакта частиц примесей с промежуточными продуктами гидролиза коагулянта (которые существуют в течение короткого промежутка времени), т.к. процессы гидролиза, полимеризации и адсорбции протекают в течение одной секунды. Неэффективное смешение приводит к перерасходу коагулянта и малой скорости агломерации примесей воды при данной дозе коагулянта.

В современной технологии водоподготовки наметилась тенденция к применению смесителей, обеспечивающих чрезвычайно быстрое распределение коагулянта в обрабатываемой воде, что соответствует тезису об использовании для дестабилизации примесей воды промежуточных продуктов гидролиза коагулянта. Исследования последних лет показали, что задача быстрого смешения неразрывно связана с концентрацией раствора коагулянта.

Целесообразно введение коагулянта в обрабатываемую воду в виде раствора низкой концентрации (до 1 %). Вместе с тем, с использованием высокоэффективных смесителей влияние концентрации коагулянта проявляется не столь ощутимо. Конструктивно интенсивность смешения коагулянта с водой может быть увеличена в гидравлических смесителях по следующим схемам вихревого типа. На рис. 1.24 изображен перфорированный распределитель коагулянта.

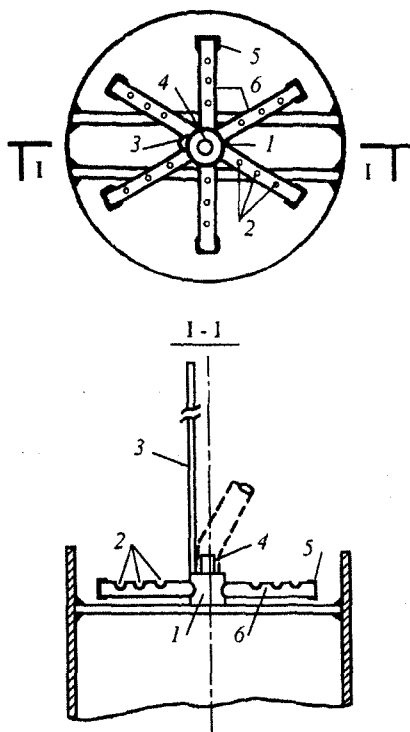


Рис 1.24. Перфорированный распределитель коагулянта (тип I): 1 – центральный бачок; 2 – отверстия для ввода коагулянта; 3 – разъемная штанга; 4 – штуцер для присоединения шланга подачи коагулянта; 5 – заглушка; 6 – перфорированная трубка-луч

Перфорированный распределитель предназначен для введения растворов коагулянта или флокулянта и может быть установлен в трубе перед смесителем, при поступлении воды в смеситель или в одном из отделений входной камеры перед контактными осветлителями. В последнем случае рекомендуется устанавливать распределитель в проеме перегородки, создающем сужение потока и увеличение его турбулентности. Потери напора при обтекании распределителя водой составляют 10–15 см.

Распределители из перфорированных трубок не рекомендуется применять при обработке воды раствором коагулянта, содержащим нерастворимые примеси.

Для введения растворов минеральных коагулянтов следует применять распределители из винипластовых труб или нержавеющей стали.

Распределитель коагулянта состоит из центрального бачка со штуцером, на который надевается шланг для подачи коагулянта, и радиальных перфорированных трубок-лучей, имеющих отверстия, направленных по движению потока воды. Распределитель опускается на место установки с помощью свинчивающейся на отдельные секции штанги (рис. 1.25).

Число отверстий следует определять по расходу раствора коагулянта и величине потери напора в распределителе 30–50 см. Ниже приведены данные расхода коагулянта, проходящего через одно отверстие, при потере напора в распределителе, равном 30 см. Указаны рекомендуемые диаметры лучей в зависимости от диаметра отверстий (табл. 1.3).

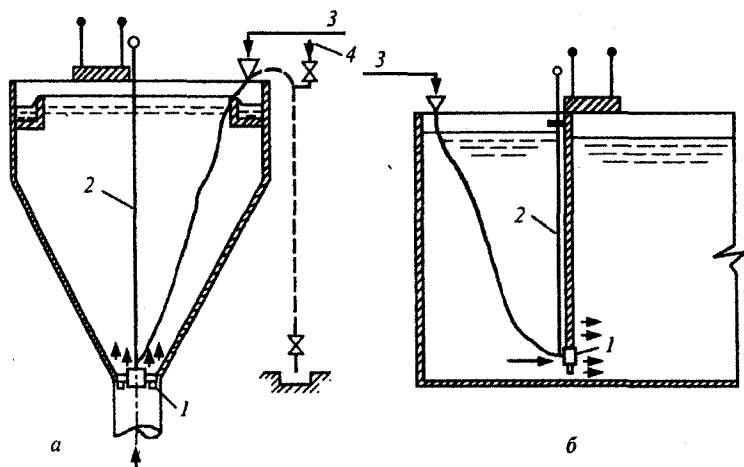


Рис. 1.25. Схема установки перфорированного распределителя коагулянта (тип I): а – в вихревом смесителе; б – в перегородчатом или коридорном смесителе, входной камере контактного осветлителя; 1 – распределитель; 2 – секционная свинчивающаяся штанга; 3 – подача коагулянта; 4 – зарядка сифона

Таблица 1.3

| Диаметр отверстия, мм | Расход раствора коагулянта, проходящего через одно отверстие при $h = 30$ см, см <sup>3</sup> /с, $q_0$ | Диаметр луча, мм |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 3                     | 12,8                                                                                                    | 15               |
| 4                     | 22,8                                                                                                    | 20               |
| 5                     | 35,6                                                                                                    | 25               |
| 6                     | 51,3                                                                                                    | 32               |

Число отверстий  $n_0$  в распределителе (при выбранном диаметре отверстий) надлежит определять по формуле

$$N_0 = \frac{q_k}{q_0}, \quad (1.36)$$

где  $q_k$  — расход раствора коагулянта, см<sup>3</sup>/с.

Число лучей в распределителе следует выбирать так, чтобы на каждом луче было не более 3-4 отверстий (число лучей не более 8).

Отверстия на лучах распределителя нужно располагать симметрично относительно оси трубы, по которой поступает обрабатываемая вода, а на каждом луче — симметрично относительно точки, отстоящей от стенки трубы на 0,25 диаметра трубы  $D$  (рис. 1.26). Расположение отверстий на лучах распределителя следует выбирать в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4

| Число отверстий на луче распределителя | Расстояние от внутренней стенки трубы до отверстия, доли от $D$ |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1                                      | 0,25                                                            |
| 2                                      | 0,2; 0,3                                                        |
| 3                                      | 0,2; 0,25; 0,3                                                  |
| 4                                      | 0,16; 0,22; 0,28; 0,34                                          |

Распределители струйного типа предназначены для быстрого смешения суспензий реагентов (извести, угля, глины и др.) с водой в напорных трубопроводах диаметром 200–1400 мм.

Распределитель надлежит выполнять по одной из приведенных на рис. 1.25 схем, включающих: два распределительных элемента для трубопроводов диаметром  $D = 200 - 400$  мм (вариант *а*); три — для  $D = 500 - 700$  мм (вариант *б*); четыре — для  $D = 800 - 1000$  мм (варианты *в*, *г*); пять — для  $D = 1200 - 1400$  мм (вариант *д*). Распределители можно устанавливать как на горизонтальных, так и на вертикальных участках



трубопроводов. В месте установки распределителя расстояние от поверхности трубопровода до ограждающих конструкций должно быть не менее 300 мм.

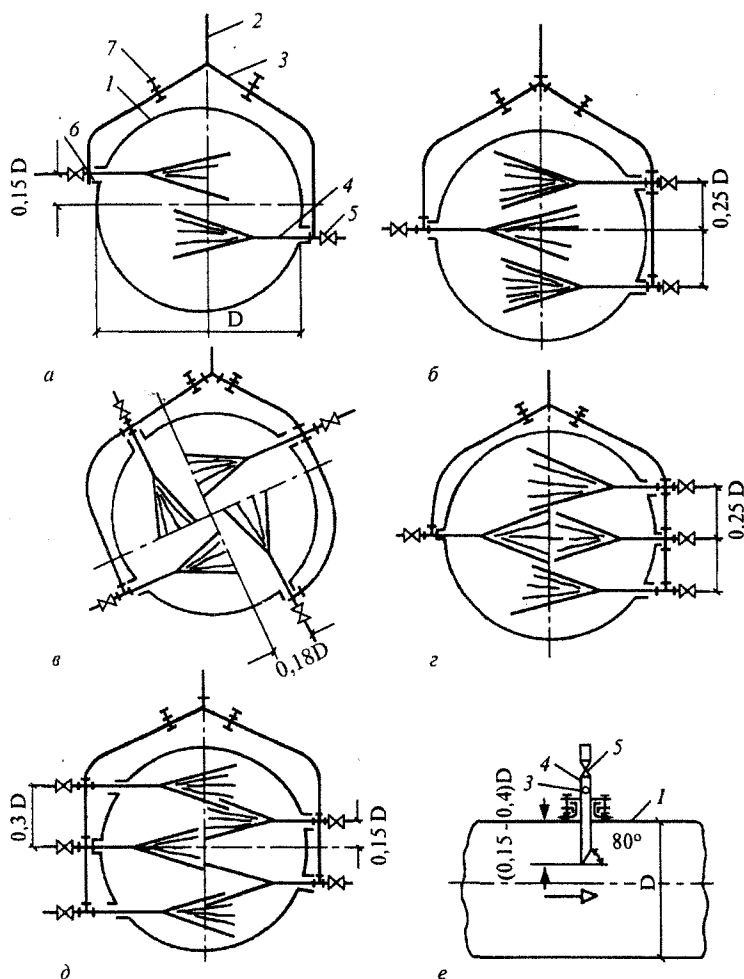


Рис. 1.26. Струйные распределители суспензий реагентов (тип IV): а... д – варианты схем: а –  $D = 200 - 400$  мм; б –  $D = 500 - 700$  мм; в, г –  $D = 800 - 1000$  мм; д –  $D = 1200 - 1400$  мм; е – деталь ввода суспензии; 1 – трубопровод; 2 – реагентопровод; 3 – коллектор распределительный (резиноканевый рукав); 4 – стальная трубка; 5 – арматура запорная; 6 – сальник; 7 – струбцина запорная

Каждый элемент распределителя суспензии следует выполнять в виде трубки, введенной срезанным концом в трубопровод через сальниковое устройство и установленной срезом по направлению потока. На противоположном конце трубки снаружи трубопровода устанавливают запорную арматуру или струбцину на резиноканевом рукаве.

Диаметр выпускного отверстия распределительного элемента следует принимать равным 8–15 мм. При этом следует предусматривать возможность и устройство для очистки от внутренних отложений путем последовательного отключения одной из ветвей распределительного коллектора и применения пробойников соответствующего диаметра (6–12 мм).

### 1.5.4. Камеры хлопьеобразования

Процессы хлопьеобразования оказывают решающее влияние на эффективность очистки воды на стадиях ее отстаивания и фильтрации. В России и странах СНГ используют в основном гидравлические камеры хлопьеобразования. Основной недостаток этих конструкций – низкая эффективность работы, особенно при очистке маломутных цветных вод.

В процессе реконструкции очистных сооружений можно рекомендовать следующие модификации камер хлопьеобразования:

- контактные (зернистые) камеры;
- тонкослойные камеры;
- тонкослойно-эжекционные камеры.

Контактные камеры хлопьеобразования рекомендуется применять в технологических схемах осветления мало- и среднемутных цветных и высокоцветных вод с длительным периодом низких температур. Такие камеры являются самопромывающимися, т.к. в процессе их работы, по мере накопления избыточного количества взвеси и под ее тяжестью, происходит расширение зернистого слоя. Накопившиеся хлопья легко вымываются потоком осветляемой воды. В качестве загрузки камер хлопьеобразования следует использовать полимерные плавающие материалы типа пенопласта полистирольного марок ПСБ и ПСВ или другие аналогичные материалы. Крупность зерен загрузки 30–40 мм (рис. 1.27, 1.28, 1.29).

Для интенсификации работы сооружений, в которых процессы хлопьеобразования осуществляются в слое взвешенного осадка, могут использоваться тонкослойные камеры хлопьеобразования. Их отличительной способностью являются тонкослойные элементы, установленные в зоне взвешенного осадка и способствующие повышению его концентрации и увеличению гидравлической крупности.

По сравнению с традиционной флокуляцией в объеме, слой взвешенного осадка, образованный в замкнутом пространстве тонкослойных элементов,

характеризуется значительно более высокими концентрациями взвешенного слоя и его устойчивостью по отношению к изменениям качества исходной воды и нагрузке на сооружения.

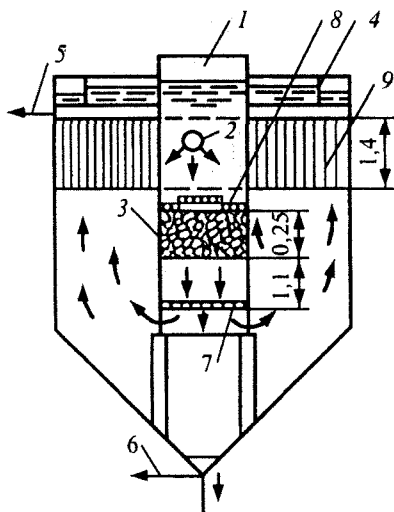


Рис. 1.27. Вертикальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования: 1 - камера хлопьеобразования; 2 - подача исходной воды; 3 - контактная плавающая загрузка; 4 - сборный лоток; 5 - отвод осветленной воды; 6 - сбор осадка; 7, 8 - нижняя и верхняя поддерживающие решетки; 9 - тонкослойные сотоблоки

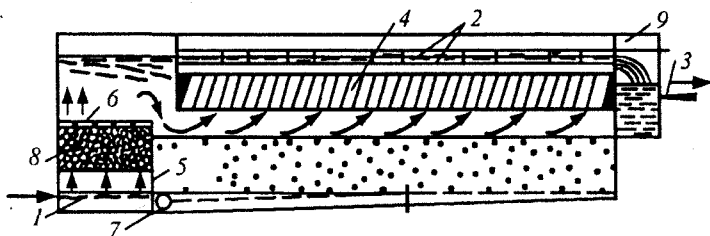


Рис. 1.28. Горизонтальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования: 1 - подача исходной воды; 2 - сбор осветленной воды; 3 - отвод осветленной воды; 4 - тонкослойные отстойные сотоблоки; 5 - водослив; 6 - верхняя поддерживающая решетка; 7 - отвод осадка; 8 - зернистая плавающая загрузка; 9 - сборный карман

В качестве тонкослойных элементов могут использоваться сотоблоки из полиэтиленовой пленки, выпуск которых в настоящее время организован в необходимом количестве. В отличие от сотоблоков, используемых в отстойниках, их длина в наиболее сложных случаях может быть увеличена с 0,7–1 до 1,5 м, а угол наклона к горизонту воды должен составлять 70–75° (рис. 1.29).

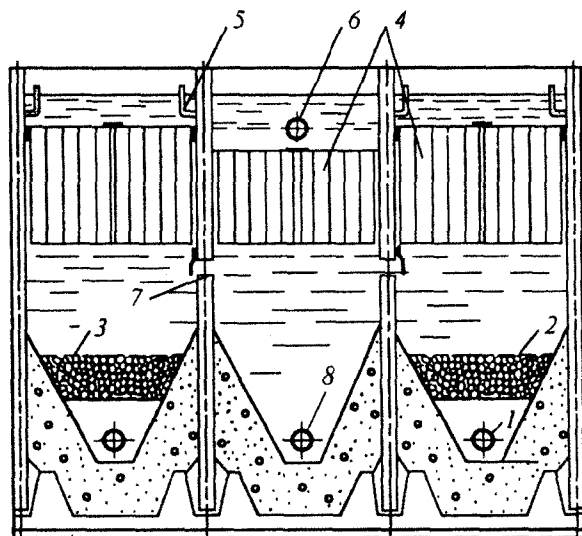


Рис. 1.29. Тонкослойный осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования: 1 – подача исходной воды; 2 – плавающая зернистая загрузка; 3 – решетка, задерживающая загрузку от всплытия; 4 – тонкослойные блоки; 5 – сборные желоба; 6 – сбор воды из шламоуплотнителя; 7 – осадкоотводящие окна; 8 – трубы для удаления осадка

Тонкослойные сотоблоки, установленные в зоне взвешенного осадка коридорных осветлителей, обеспечивают коэффициент объемного использования этих сооружений до 0,9–0,92, улучшение качества осветленной воды в 1,5–1,8 раз при одновременном увеличении нагрузки на сооружение в 1,3–1,7 раза.

При определенных показателях качества воды, когда для эффективного хлопьеобразования требуется введение дополнительной твердой фазы, могут использоваться тонкослойно-эжекционные, рециркуляционные камеры хлопьеобразования (рис. 1.30).

Принцип их работы отличается тем, что под тонкослойными блоками устанавливаются определенным образом низконапорные эжекционные рециркуляторы, через которые в камеры подается исходная вода. Они располагаются таким образом, что одновременно через них подсасывается (без разрушения структурных свойств) взвесь, выпавшая из тонкослойных элементов, и осадок, осевший на дно камеры. Осадок, частично возвращенный в поток обрабатываемой воды, способствует увеличению в 2–3 раза массовой и объемной концентрации взвешенного слоя.

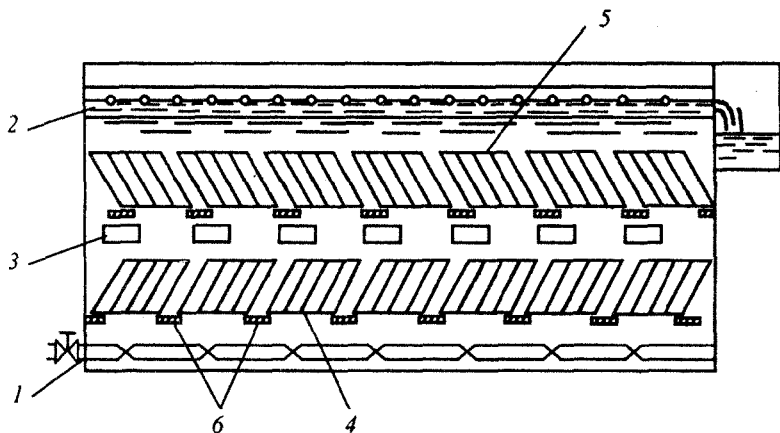


Рис. 1.30. Тонкослойный осветлитель, оборудованный тонкослойной камерой хлопьеобразования: 1 – подача исходной воды; 2 – сбор осветленной воды; 3 – шламоотводящие окна; 4 – тонкослойная камера хлопьеобразования; 5 – тонкослойные отстойные сотовые блоки; 6 – поперечные опоры под блоки

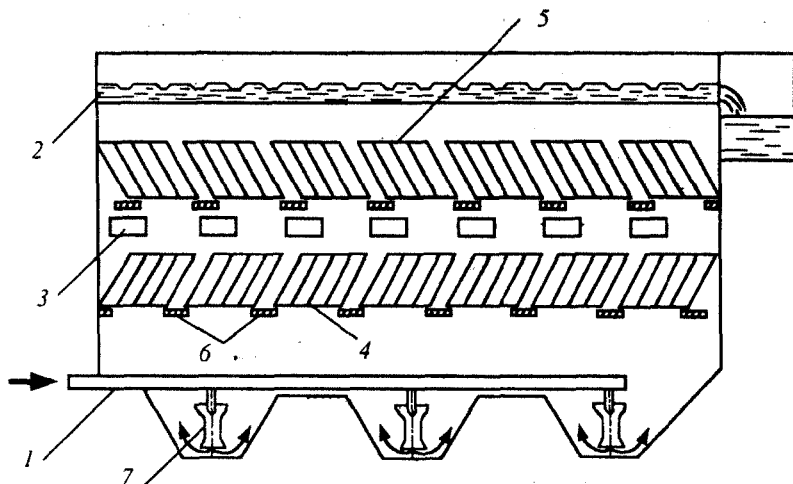


Рис. 1.31. Схема оборудования осветлителя тонкослойными блоками и рециркуляторами: 1 – подача исходной воды; 2 – сбор осветленной воды; 3 – шламоотводящие окна; 4 – тонкослойные блоки в зоне взвешенного осадка (хлопьеобразующие); 5 – тонкослойные блоки в зоне осветления (осветлительные); 6 – поперечные опоры под блоки; 7 – эжекторы

### 1.5.5. Отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка

В практике водоподготовки для предварительного осветления воды перед поступлением ее на скорые фильтры (для снижения мутности до 8–20 мг/л) применяют отстойники и осветлители со слоем взвешенного осадка. Оптимизация работы отстойников может осуществляться следующим образом:

- по пути совершенствования распределительных систем воды по поперечному сечению отстойника;
- совершенствования системы сбора осветленной воды;
- создания в отстойнике ламинарного режима движения воды – путем использования тонкослойных элементов или блоков.

Для улучшения гидравлического режима горизонтальных отстойников по его длине устанавливают дырчатые перегородки. Суммарная площадь отверстий составляет 6–8 %, они располагаются в шахматном порядке. Диаметр отверстий 8–12 см. Перегородки устанавливаются на расстоянии 6–8 м от начала и конца отстойника. В результате происходит выравнивание скоростей по всему сечению потока, уменьшаются обратные течения, образующие пассивные зоны, возрастает время пребывания воды в отстойнике.

Для равномерного сбора осветленной воды в отстойниках применяют систему горизонтальных подвесных желобов или труб, на боковых стенках которых находятся затопленные отверстия диаметром не менее 25 мм при скорости движения воды в них 1 м/с. Расчетная скорость в конце желоба или трубы должна быть 0,6–0,8 м/с, верх желоба поднят на 0,1 м выше максимального уровня воды в отстойнике. Расстояние от первого желоба до входной перегородки принимается  $l_n = l/31$ , но не менее 15 м, здесь  $l$  – длина отстойника. Последний желоб находится на расстоянии 0,5–1,5 м от торцевой перегородки. Расстояние между желобами можно принимать при скорости потока до 5 мм/с  $l_{ж} = 0,8H$ , при большей  $l_{ж} = 0,4H$ , но не более 3 м, здесь  $H$  – глубина отстойника. Желоба могут быть асбестоцементные, винипластовые, деревянные с отношением ширины к высоте 2:1.

Устройство такой системы отвода воды позволяет собирать до 30 % ее расхода. При этом ее качество превышает качество воды, прошедшей обычный отстойник. Система дает возможность повысить качество всей воды на 50 % либо повысить нагрузку на отстойник на 20–30 %.

Применение горизонтальных отстойников со встроенной камерой хлопьеобразования и отбором осветленной воды через тонкослойные блоки, размещаемые в зоне осаждения, предполагает значительные технологические преимущества. Принципиальное отличие отстойников данной конструкции состоит в том, что осветление воды происходит не в свободном объеме отстойника, а в тонкослойных элементах (блоках) с ламинарным

движением воды. Блоки устанавливают наклонно, что способствует постоянному сползанию осадка и его удалению.

Применение отстойников с тонкослойными блоками отстаивания воды позволяет значительно увеличить нагрузку (в 2-3 раза) или соответственно снизить объем сооружения. При установке в зоне осаждения тонкослойных блоков по всей длине отстойника его площадь при коагулировании примесей следует определять исходя из удельных нагрузок, отнесенных к площади зеркала воды, занятой тонкослойными модулями: для мутных вод  $4,6-5,5 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ ; для вод средней мутности  $3,6-4,5 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ ; для маломутных и цветных вод  $3-3,5 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ . Не взирая на явные преимущества, в России до настоящего времени тонкослойные отстойники имеют небольшое применение. Основной проблемой широкого использования тонкослойных сооружений в нашей стране являлось отсутствие серийного выпуска тонкослойных элементов и блоков для них. Однако в результате исследований последних лет и конструкторских разработок был налажен мелкосерийный выпуск тонкослойных сотовблоков на нескольких заводах. В качестве материала использована полиэтиленовая пленка толщиной 0,15–0,2 мм. Размеры ячейки сотовблока приняты 0,05 м (высота) и 0,5–0,2 м (ширина). Длина отстойных элементов определяется гидравлической крупностью осаждающейся взвеси, а также требованием к качеству отстоянной воды и может составлять 0,7–1,5 м. Оптимальными размерами в плане всего сотовблока, с точки зрения удобства их растяжения и монтажа, а также габаритов типовых отстойных сооружений, считаются отношения 1×1 до 1,5×1,5 м (рис. 1.32).

Тонкослойные сотовблоки из полиэтиленовой пленки были установлены в вертикальные и горизонтальные отстойники, а также осветлители со слоем взвешенного осадка различных конструкций, расположенные на станциях водоподготовки в городах Ухте, Северодвинске, Кирове, Даугавпилсе, Новгороде, Тбилиси и др.

Работа осветлителей со слоем взвешенного осадка в случае очистки маломутных цветных вод может быть интенсифицирована за счет повышения концентрации зердой фазы путем рециркуляции ранее образовавшегося в сооружениях осадка, который при введении в очищаемую воду играет роль дополнительных центров хлопьеобразования. Этот метод реализован в разработанных ЛНИИ АКХ конструкциях осветлителей-рециркуляторов (рис. 1.33).

Благодаря рециркуляции производительность сооружений увеличивается от 30 до 60 %. Одновременно установлено, что за счет рециркуляции осадка существенно повышается барьерная роль сооружений первой ступени очистки в отношении планктона, эффект составлял (в зависимости от вида планктона) от 90 до 100 %. Кроме того, рециркуляция осадка позволяет без ухудшения качества очистки утилизировать промывные воды фильт-

ровальных сооружений путем их равномерного перекачивания из резервуара-усреднителя в головной узел водоочистной станции.

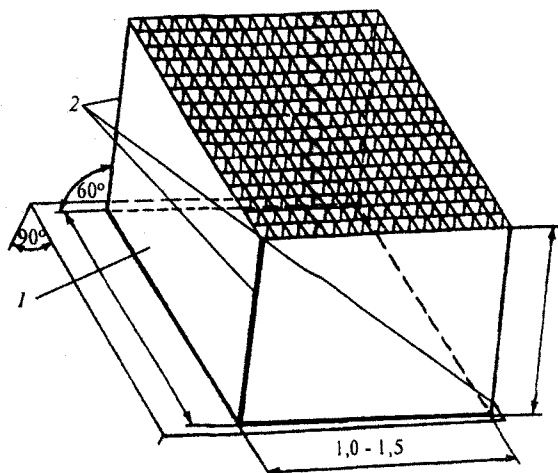


Рис 1.32. Тонкослойный сотовый блок из полиэтиленовой пленки: 1 – тонкослойный блок из полиэтиленовой пленки; 2 – стержни для растяжения сотового блока

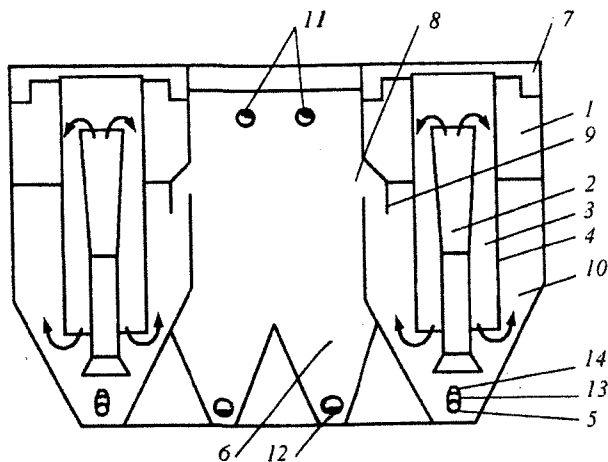


Рис. 1.33. Осветлитель-рециркулятор: 1 – рабочая камера; 2 – смеситель; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – направляющий аппарат; 5 – распределительная трубка; 6 – осадкоуплотнитель; 7 – лоток; 8 – окна; 9 – защитный козырек; 10 – слой взвешенного осадка; 11 – трубы для перепускания взвешенного осадка; 12 – трубы для выпуска уплотненного осадка; 13 – патрубок; 14 – сопло



### 1.5.6. Обработка воды флотацией

При реконструкции водоочистных станций, осветляющих воду из поверхностных источников (озер, водохранилищ, рек и т.п.) с небольшим количеством мелкодисперсных взвешенных веществ (не более 150 мг/л) и повышенной цветностью (до 200 град) при содержании фитопланктона и плавающих нефтепродуктов, целесообразно применять флотационные сооружения.

Количество взвешенных веществ в воде после флотационных сооружений не должно превышать 10 мг/л.

Преимущества флотационных сооружений по сравнению с другими сооружениями предварительного осветления (осветлителями со взвешенным осадком, отстойниками) заключаются в следующем:

- значительно ускоряется процесс выделения взвеси из воды, благодаря чему сокращается общий объем очистных сооружений;
- улучшается их санитарное состояние из-за постоянного удаления выделенных загрязнений;
- более эффективно удаляется фитопланктон, что в большинстве случаев позволяет отказаться от установки микрофильтров;
- удаляются из воды плавающие и плохо оседающие примеси.

Очистные сооружения с флотационным осветлением воды имеют тот же состав основных и вспомогательных сооружений, что и обычные станции двухступенчатого осветления, за исключением отстойников или осветлителей с взвешенным слоем осадка, заменяемых флотационными установками (рис. 1.34).

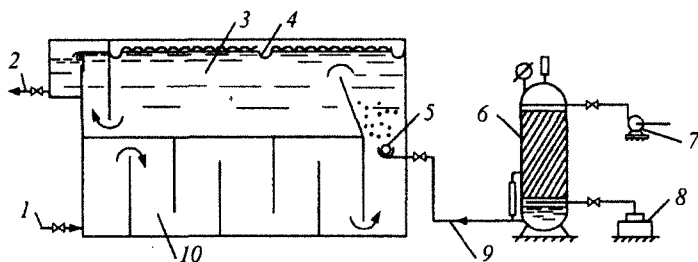


Рис. 1.34. Флотационная установка: 1 – подача исходной воды с реагентами; 2 – отвод осветленной воды; 3 – флотационная камера; 4 – лотки для сбора пены; 5 – распределительная система; 6 – напорный бак; 7 – насос; 8 – компрессор; 9 – подача воды, насыщенной воздухом; 10 – камера хлопьеобразования

В составе флотационных сооружений необходимо предусматривать флотационные камеры, узел подготовки и распределения водовоздушного раствора, устройства для удаления и отвода флотационной пены.

Перед осветлением воды флотацией надлежит предусматривать камеры хлопьеобразования, совмещенные с флотационными камерами.

Флотационная камера (круглая или прямоугольная в плане) рассчитывается на удельную нагрузку  $6-8 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади.

Глубина слоя воды во флотационной камере должна быть  $1,5-2,5 \text{ м}$ . Длина флотационной камеры выбирается равной  $3-9 \text{ м}$ , ширина — не более  $6 \text{ м}$ , отношение ширины к длине  $2:3-1:3$ .

Во входной части флотационной камеры надлежит устанавливать струенаправляющую перегородку с наклоном  $60-70^\circ$  к горизонту в сторону движения воды в камере.

Скорость входа обрабатываемой воды во флотационную камеру должна быть не более скорости выхода ее из камеры хлопьеобразования. Скорость движения воды над струенаправляющей перегородкой следует принимать  $0,016-0,02 \text{ м/с}$ .

Сбор осветленной воды во флотационной камере необходимо осуществлять равномерно по ее ширине или окружности из нижней части камеры с помощью подвесной стенки и направлять поток вверх (к отводу воды из камеры) или с помощью отводящей системы из перфорированных труб. Скорость движения воды под подвесной стенкой или в отверстиях отводящих дырчатых труб принимается  $0,9-1,2 \text{ м/с}$ .

Днище флотационной камеры должно иметь уклон  $0,01$  к трубопроводу для опорожнения.

Подготовка водовоздушного раствора происходит путем насыщения воды воздухом под давлением  $0,6-0,8 \text{ МПа}$  в специальных напорных емкостях. Для приготовления водовоздушного раствора используют воду после прохождения фильтров. Расход воздуха составляет  $0,9-1,2 \%$  расхода очищаемой воды.

Для равномерного распределения водовоздушного раствора в объеме обрабатываемой воды и для создания условий, обеспечивающих получение мелких воздушных пузырьков, во флотационной камере надлежит устраивать распределительную систему, состоящую из дырчатого трубопровода и расположенного под ним кожуха, выполненного из материала, стойкого к кислородной коррозии. Распределительную трубу устанавливают во входной части флотационной камеры (в отсеке, образованном ее торцевой стенкой и струенаправляющей перегородкой) на расстоянии  $250-350 \text{ мм}$  от дна камеры. Скорость выхода водовоздушного раствора из отверстий распределительной системы надлежит принимать равной  $20-25 \text{ м/с}$ , диаметр отверстий  $5-8 \text{ мм}$ . Отверстия располагают равномерно в один ряд по нижней образующей трубы. Днище защитного кожуха размещают под отверстиями распределительной системы на расстоянии  $80-100 \text{ мм}$ .

Удаление пены с поверхности воды во флотационной камере должно быть осуществлено кратковременным подъемом уровня воды с отводом ее

через подвесные лотки, расположенные равномерно по площади камеры, или с помощью скребковых механизмов, перемещающих пену к сборным лоткам.

Верхние кромки лотков необходимо располагать на одной общей отметке на 10–15 мм выше уровня воды во флотационной камере.

Днища лотков выполняют с уклоном 0,025 в сторону отвода пены. Потери воды при сбросе пены подъемом уровня вод следует принимать 1,0–1,5 % расхода обрабатываемой воды. При удалении пены скребковыми механизмами скорость перемещения скребков в прямоугольных камерах следует принимать не более 0,02 м/с, в круглых – окружную скорость 0,015–0,02 м/с при частоте вращения скребков 5–10 об/с.

### 1.5.7. Фильтровальные сооружения

#### *Реконструкция фильтрующего слоя*

Можно выделить следующие практические методы модернизации зернистых загрузок фильтровальных сооружений:

- увеличение высоты фильтрующего слоя с одновременным укрупнением зерен загрузки;
- замена загрузки на материал с высокой межзернистой пористостью и развитой поверхностью зерен;
- реализация принципа фильтрования в направлении убывающей крупности зерен за счет устройства двухслойного фильтрующего слоя;
- применение тяжелых фильтрующих материалов в фильтровальных сооружениях с восходящим потоком воды.

Способ увеличения допустимой скорости фильтрования за счет увеличения высоты фильтрующего слоя может быть реализован только при капитальной реконструкции фильтров вместе с полным изменением конструкции дренажно-распределительных систем. Его используют при замене дренажных систем с горизонтальной компенсацией или с поддерживающими слоями на безгравийные дренажные системы. Подобная реконструкция фильтров осуществлена на нескольких водопроводных станциях при устройстве щелевых полиэтиленовых дренажей.

Более простыми способами интенсификации работы фильтрующего слоя является замена загрузки на эффективные фильтрующие материалы и устройство двухслойных загрузок. Эти способы не требуют реконструкции самих фильтров и достигаются лишь соответственной подготовкой фракционного состава фильтрующей загрузки. Фильтрующие слои, сложенные из зернистых материалов с развитой поверхностью, имеют повышенную пористость и обеспечивают лучшие параметры фильтрования по сравнению

с кварцевым песком. Это дает возможность получить за счет их использования при одной и той же высоте фильтрующего слоя более длительный фильтроцикл при одинаковой скорости фильтрования или увеличить скорость фильтрования при неизменной длительности фильтроцикла.

При ограниченных количествах высокопористых материалов повышение скорости фильтрования может быть обеспечено за счет срезания верхнего слоя кварцевого песка и его замены более легким материалом с повышенной крупностью зерен, т.е. путем устройства двухслойной загрузки. Особенно эффективен этот способ, когда в результате длительной эксплуатации часть зернистого слоя вымыта из тела фильтра. При реализации этого способа реконструкции для верхнего слоя фильтра могут быть использованы керамзит, шунгизит, клиноптилолит, отработанный активный уголь и др.

Эффективное применение двухслойных загрузок затруднено необходимостью правильного выбора соотношения крупности зерен загрузки верхнего и нижнего слоев, чтобы не происходило их смешение при проведении промывки слоев загрузки.

Для контактных осветлителей легкие высокопористые материалы не всегда эффективны, т.к. их малая плотность значительно уменьшает предельно допустимые потери напора.

Потери напора для них выполняются по формуле

$$h = \frac{\rho_3 - \rho}{\rho} (1 - m) l_0, \quad (1.37)$$

где  $\rho_3$ ,  $\rho$  — плотность зерен загрузки и воды;  $m$  — пористость фильтрующего слоя;  $l_0$  — высота фильтрующего слоя.

Значения пористости фильтрующей загрузки изменяются для различных материалов в достаточно ограниченных пределах ( $m = 0,4 - 0,65$ ), поэтому предельные потери напора в основном зависят от плотности материала фильтрующей загрузки. Приняв рекомендуемую высоту фильтрующего слоя для контактных осветлителей  $l = 2,2$  м, можно показать вычисленные значения предельно допустимых потерь напора для разных фильтрующих материалов (табл. 1.5).

Использование при контактном осветлении загрузок с большой плотностью позволяет за счет большей предельной потери напора увеличить продолжительность фильтроцикла и повысить производительность фильтровальных сооружений.

Производственная проверка эффективности работы контактного осветлителя с загрузкой шлаков никелевого производства производилась на водоочистных станциях Мурманска. Скорость фильтрации при шлаке никелевого производства была на 25–30 % выше, чем на аналогичных контактных

осветителях, загруженных кварцевым песком, при этом качество очищенной воды было одинаковым.

Таблица 1.5

| Материал                                            | $\rho_3, \text{г/см}^3$ | $m$  | $h, \text{м}$ |
|-----------------------------------------------------|-------------------------|------|---------------|
| Легкий дробленый керамзит                           | 1,4                     | 0,65 | 0,572         |
| Тяжелый керамзитовый песок (недробленый)            | 1,7                     | 0,45 | 0,847         |
| Горелые породы                                      | 2,4                     | 0,55 | 1,386         |
| Кварцевый песок                                     | 2,65                    | 0,41 | 2,142         |
| Гранулированные шлаки медно-никелевого производства | 3,18                    | 0,48 | 2,49          |
| Базальт                                             | 4,2                     | 0,45 | 3,872         |
| Магнетит дробленый                                  | 5,0                     | 0,44 | 4,928         |

Использование фильтров с плавающей полимерной нагрузкой (рис. 1.35) является одним из путей интенсификации процесса фильтрования природных вод. В результате сравнения технико-экономических показателей профессором М.Г. Журбой установлено, что наиболее рациональными в настоящее время являются гранулы вспененного полистирола, полученные в результате спекания. В настоящее время промышленностью освоен массовый выпуск различных марок пенополистирола и шунгизита. В последующем, после освоения промышленностью, могут найти применение в качестве плавающих нагрузок газонаполненные гранулы керамзита, котельные и металлургические шлаки, а также различные полимерные материалы, обладающие достаточной механической прочностью, химической стойкостью и пористостью.

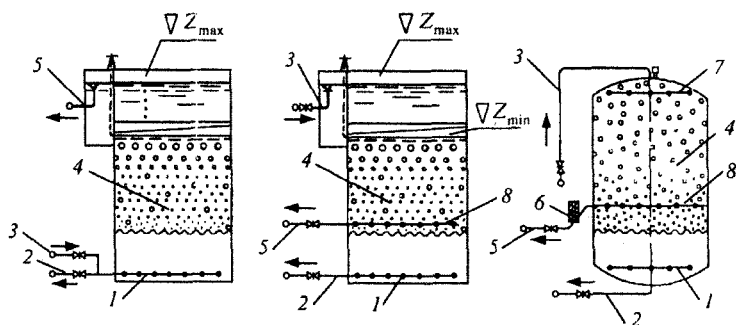


Рис 1.35. Фильтры с плавающей пенополистирольной нагрузкой: а – ФПЗ-1; б – ФПЗ-4; в – ФПЗ-4н (ФПЗ-3, 4-150); 1 – нижняя сборно-распределительная система; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача исходной воды; 4 – пенополистирольная нагрузка; 5 – отвод фильтрата; 6 – уловитель пенополистирола; 7 – верхняя распределительная система; 8 – средний дренаж

Замена тяжелых фильтрующих загрузок на плавающие существенно меняет технологию фильтрования воды, позволяет увеличить допустимую по сравнению с кварцевыми фильтрами концентрацию взвеси в исходной воде и скорость фильтрования, значительно упростить регенерацию загрузки, отказаться от установки промывных насосов и специальных емкостей для воды. М.Г. Журбой подтверждено, что гранулы полистирола обладают более высокими адгезионными и электрокинетическими свойствами по сравнению с зернами песка и их применение интенсифицирует процесс фильтрования в целом.

В настоящее время в практику водоочистки внедряют напорные фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) для очистки производственных вод прокатных станов, а также безнапорные ФПЗ для осветления природных вод. В зависимости от содержания и характера взвеси в воде, подаваемой на очистные сооружения, а также от производительности водоочистного комплекса предложены следующие основные схемы фильтрования:

- через многоярусные или многослойные фильтры с убывающей крупностью гранул по ходу движения осветляемой воды снизу вверх (ФПЗ-2 и ФПЗ-3, КФПЗ);
- через фильтры большой грязеемкости при фильтровании воды сверху вниз;
- с горизонтальным направлением фильтрования;
- с непрерывной регенерацией загрузки.

Исследованиями профессора В.О. Орлова установлено, что при безреагентной очистке воды на ФПЗ-2 и ФПЗ-3 для получения фильтрата, отвечающего нормам ГОСТ на питьевую воду, рекомендуется принимать: допустимое содержание взвеси в воде до 100 мг/л; скорость фильтрования (в зависимости от физико-механических свойств воды и взвеси) 0,6–2 м/ч; общую толщину двухъярусной или двухслойной загрузки до 0,7–1,2 м; диаметр гранул плавающей загрузки 0,3–1,5 мм; интенсивность промывки загрузки 10–12 л/(с·м<sup>2</sup>); продолжительность промывки 3–4 мин. При промывке фильтров подача промывной воды осуществляется сверху вниз.

В случае очистки природных вод для производственных целей скорость фильтрования на ФПЗ может быть установлена в пределах 20–25 м/ч, содержание взвеси в фильтрате на протяжении фильтроцикла не должно превышать 20 мг/л. Суммарные потери напора на фильтроцикл достигают 2,6 м.

Результаты исследований работы контактных ФПЗ подтверждают целесообразность внедрения их в практику фильтрования природных вод для питьевых целей. Раствор реагента вводится в фильтр непосредственно перед фильтрующей загрузкой. Положительный результат работы ФПЗ был получен также при очистке природных вод от фито- и зоопланктона. При скорости фильтрования 4–7 м/ч достигается удаление из очищаемой воды 90–95 % планктона при незначительных потерях напора.

Фильтры с крупнозернистой загрузкой для частичного осветления воды конструктивно аналогичны обычным скорым фильтрам. Фильтрующая загрузка однослойна. Для песка крупность зерен принимается 1–2 или 1,6–2,5 мм соответственно, высота фильтрующего слоя 1,5–2,0 и 2,5–3 м, скорость фильтрования 10–12 и 13–15 м/ч. Режим промывки следующий: взрыхление загрузки воздухом 15–25 л/(с·м<sup>2</sup>) в течение 1 мин, водовоздушная промывка 3,5–5 л/(с·м<sup>2</sup>) воды и 15–25 л/(с·м<sup>2</sup>) воздуха в течение 5 мин, отмывка водой 7–9 л/(с·м<sup>2</sup>) в течение 3 мин.

### *Интенсификация промывки фильтровальных сооружений*

Наиболее простым и в конструктивном исполнении самым распространенным способом промывки фильтрующих сооружений является водяная промывка. Однако она имеет ряд недостатков: не всегда обеспечивается необходимая эффективность отмывки фильтрующего слоя; происходит гидравлическая сортировка загрузки, что ведет к сокращению продолжительности фильтроциклов и снижению производительности сооружений; расходуется большое количество воды (до 7–8 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтрующего слоя), что, в свою очередь, требует использования мощных насосов и больших емкостей для накопления запаса воды на промывку; требуются большие сооружения для обработки промывных вод при их повторном использовании.

Эффективность водяной промывки может быть повышена чаще всего за счет использования водовоздушной промывки. Применение воздуха дает возможность резко сократить количество промывной воды, и соответственно уменьшить размеры коммуникаций для ее подвода, отвода и сооружений по ее повторному использованию.

При водяной промывке истинная скорость движения воды в поровом пространстве не превышает 2,5–3,5 см/с, тогда как скорость подъема воздушных пузырьков в водной среде на порядок выше и составляет 25–30 см/с. Такие пузырьки увлекают за собой некоторую часть воды, поэтому местные скорости потока резко возрастают. Вследствие этого усиливается отрыв загрязнений от поверхности зерен фильтрующего слоя.

При водовоздушной промывке любой требуемый эффект отмывки может быть достигнут (в отличие от водяной промывки) даже при малом расходе воды (рис. 1.36).

Наиболее часто применяют совместный режим водовоздушной промывки, который осуществляется в три этапа. На первом этапе длительностью 1–2 мин подается только воздух интенсивностью 15–20 л/(с·м<sup>2</sup>). На втором этапе осуществляется совместная водовоздушная продувка, когда в дополнение к воздуху подается промывная вода интенсивностью 2,5–4 л/(с·м<sup>2</sup>). Продолжительность этого этапа составляет 4–5 мин для скорых фильтров

и 6-7 мин для контактных осветлителей. За счет совместного действия воды и воздуха на втором этапе промывки происходит полное разрушение структуры задержанных загрязнений поровым каналом; они перемещаются вверх, выходя на поверхность загрузки, при этом из загрузки удаляется основная масса загрязнений. Интенсивность подачи на основном (втором) этапе подобрана таким образом, чтобы загрузка не расширялась. Благодаря этому не происходит смещение и перемешивание слоев загрузки, обеспечивается заданное первоначальной укладке загрузки распределение ее крупности по высоте слоя.

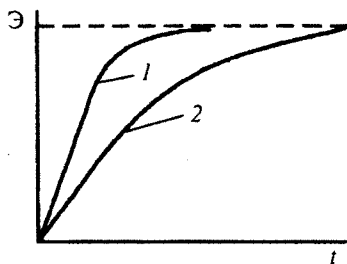


Рис 1.36. Изменение эффективности промывки фильтрующей загрузки во времени при воздушной промывке: 1 — водовоздушная промывка; 2 — водяная промывка

По окончании совместной водовоздушной промывки подача воздуха прекращается, и в течение 5-6 мин осуществляется подача только воды интенсивностью 6-7 л/(с·м<sup>2</sup>), т.е. больше, чем на втором этапе, для удаления оставшихся в загрузке заще姆ленных загрязнений, задержанного воздуха, разрыхления фильтрующего слоя.

Поскольку интенсивность подачи воды на третьем этапе недостаточна для транспортирования загрязнений вертикальным потоком воды, совместная водовоздушная промывка может быть эффективно использована только при одновременном устройстве горизонтального (низкого) отвода воды, в котором для транспортирования загрязнений не требуется большого расхода промывной воды.

При водовоздушной промывке воду и воздух следует подавать по раздельным трубчатым распределительным системам или через распределительные системы со специальными колпачками.

При использовании водовоздушной промывки экономия промывной воды может быть до 30-35 % по сравнению с водяной промывкой, а интенсивность подачи воды может быть уменьшена до 2 раз.

Водовоздушную промывку рекомендуется применять при использовании песчаных загрузок фильтров. При использовании фильтрующих загрузок из дробленых антрацита или керамзита водовоздушная промывка не допускается.



При реагентном умягчении воды или реагентном обезжелезивании наряду с обычной промывкой целесообразно применять поверхностную промывку с целью отмывки загрязнений в верхнем слое загрузки и экономии до 50 % промывной воды. Ее можно проводить с помощью неподвижных или вращающихся промывных труб, или труб, располагаемых непосредственно под поверхностью фильтрующей загрузки. Струи воды, выходя с большими скоростями из отверстий или насадок промывной системы, разбивают и размельчают осевшие загрязнения, облегчая удаление их из фильтра. Разбитый верхний промывной фильтрующий слой в начале промывки снизу уже не поднимается вверх монолитным пластом, а взвешивается отдельными зернами в потоке промывной воды.

При вращающейся системе поверхностной промывки расходуется значительно меньшее количество промывной воды, чем при стационарной с одинаковым качеством отмывки фильтрующего слоя. Кроме того, для изготовления вращающейся системы требуется значительно меньше труб. Однако вращающиеся системы можно использовать только для круглых и квадратных фильтров с размером фильтрующей площади не более  $25 \text{ м}^2$ , для фильтров с центральным каналом не более  $50 \text{ м}^2$ . При большей площади следует применять стационарную систему верхней промывки.

Общая длина вращающейся трубы принимается с таким расчетом, чтобы концы труб не доходили до стенок фильтра на 200–250 мм. На каждом плече вращающейся трубы располагаются насадки таким образом, чтобы при вращении труб струи воды, выходящие из насадок на одном плече трубы, приходились между струями, выходящими из насадок другой трубы. Расстояние между соседними насадками принимается 200–250 мм.

При проектировании вращающейся системы для верхней промывки следует принимать следующие показатели: интенсивность промывки  $0,5\text{--}0,75 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , скорость движения воды в подводящих трубах  $2,5\text{--}3 \text{ м/с}$ , напор в подводящем стояке  $0,4\text{--}0,5 \text{ МПа}$ .

Стационарная система верхней промывки состоит из подводящих трубопроводов и ряда дырчатых труб, прокладываемых на расстоянии 6–8 см над поверхностью фильтрующей загрузки.

При проектировании стационарной системы следует принимать: интенсивность промывки  $3\text{--}4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , скорость движения воды в подводящих трубах  $25 \text{ м/с}$ , скорость выхода воды из отверстий  $8\text{--}10 \text{ м/с}$ , расстояние между дырчатыми трубами  $0,6\text{--}1 \text{ м}$ , расстояние между отверстиями  $8\text{--}10 \text{ см}$ , напор в подводящем трубопроводе  $0,3\text{--}0,4 \text{ МПа}$ .

Продолжительность промывки 5–8 мин, из них 2–3 мин до проведения нижней промывки.

Недостатком большинства известных способов промывки скорых фильтров является гидравлическая сортировка зерен загрузки. В Одесском инженерно-строительном институте предложен принципиально новый спо-

соб промывки зернистых фильтров. Суть его состоит в чередовании по площади фильтра зон с различной интенсивностью промывки. Это позволяет значительно снизить степень гидравлической классификации зерен загрузки.

Средняя интенсивность чередующейся промывки принимается такой же, как и в обычных скорых фильтрах  $14-15 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ , а соотношение расходов в соседних зонах составляет от 1:1,5 до 1:3. В таких условиях обеспечивается процесс перемешивания и практически полное исключение гидравлической классификации фильтрующего слоя. Это дает возможность повысить производительность скорых фильтров на 30–50 %.

В производственных условиях для организации чередующейся промывки следует реконструировать дренаж: при трубчатом щелевом дренаже монтируют дренажи с большими и меньшими площадями щелей, при пористом дренаже на выходе в дренажные каналы устанавливают патрубки большого и малого сопротивления, в колпачковом дренаже изменяют количество на единицу площади. Промывка производится при обычной интенсивности, а последние 2–3 мин загрузка промывается с интенсивностью  $10-13 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ .

Для решения задачи увеличения грязеемкости фильтров предлагается оборудовать существующие фильтры конусообразными вставками 4, располагаемыми в верхних слоях загрузки 8 и закрепленными на раме 7 (рис. 1.37). Рама 7 соединена штангами 6 с вертикальными шпинделями 1 и колонками 2, предназначенными для ее подъема и опускания.

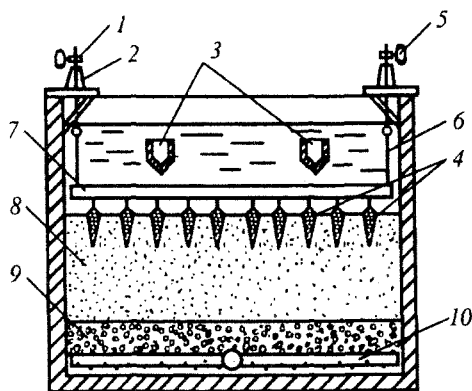


Рис. 1.37. Конструкция фильтра с конусообразными вставками: 1 – подвижной шпindel; 2 – колонка; 3 – желоба для отвода промывной воды; 4 – конусообразные вставки; 5 – электропривод; 6 – штанги; 7 – рама; 8 – слой зернистой загрузки; 9 – гравийные поддерживающие слои; 10 – трубчатая дренажная система

Фильтр с конусообразными вставками работает следующим образом. Исходная вода фильтруется через слой загрузки 8 сверху вниз до достижения установленной потери напора. Затем поднимается рама 7 вместе с конусообразными вставками 4 на 100–150 мм. Через образовавшиеся воронки

основная часть очищаемой воды поступает в средние малозагрязненные слои загрузки, где продолжается процесс задержания загрязнений. Учитывая их небольшое сопротивление и возможности проскока взвеси в фильтрах из-за повышенной скорости фильтрования, одновременно с поднимаемой рамой 7 и конусообразными вставками 4 прикрывается задвижка на трубе отвода фильтрата. Часть исходной воды будет по-прежнему фильтроваться через загрязненные верхние слои загрузки, где дополнительно задержится некоторое количество загрязнений.

После повторного достижения установленных потерь напора или проскока взвеси в фильтрат предлагаемый фильтр выключается на промывку аналогично существующему. В конце промывки рама 7 вместе с конусообразными вставками 4 возвращается на исходное положение.

Грязеемкость фильтров с конусными вставками возрастает в среднем в 1,7–1,9 раза по сравнению с обычными фильтрами.

### *Новые виды дренажей в скорых фильтрах*

Полимербетонные дренажи могут быть использованы как при строительстве новых, так и при реконструкции действующих фильтров. Они могут применяться при водяной и водовоздушной промывке.

Полимербетонные дренажи имеют следующие преимущества перед наиболее распространенными трубчатыми дренажами с поддерживающими слоями гравия: отпадает необходимость применения гравийных слоев; уменьшается трудоемкость строительно-монтажных работ; сокращается металлоемкость; повышается надежность работы фильтров; загрузка фильтров может быть полностью механизирована; увеличивается высота фильтрующей загрузки без увеличения высоты фильтра.

Разработано несколько конструкций дренажей из пористого полимербетона:

- лоткового типа,
- дырчатый железобетонный,
- патрубковый,
- «сэндвич».

Дренажи лоткового типа состоят из бетонных опорных стенок, перекрывающих сверху пористыми плитами, на которых располагается фильтрующая загрузка любого вида.

Дырчатый дренаж изготавливается из железобетонных плит, отверстия которых заполнены пористым полимербетоном (рис. 1.38). Диаметры отверстий и их шаг определяются гидравлическим расчетом из условия взвешивания загрузки, отсутствия «мертвых» зон между отверстием и заданной степени равномерности поля скорости промывной воды. Сверху плиты покрыты тонким слоем полимербетона, что улучшает равномерность промыв-

ки и сбора фильтрата. Этот дренаж в 1,5–2,5 раза уменьшает расход эпоксидной смолы, поскольку функцию несущей конструкции выполняет железобетонная плита. Уменьшается число плит и опор, что повышает индустриальность монтажа. Однако в данном случае необходимо обеспечить надежное крепление плит ко дну фильтра, рассчитанное на нагрузку при промывке фильтров. Описанные выше конструкции применяют, как правило, при реконструкции открытых скорых фильтров.

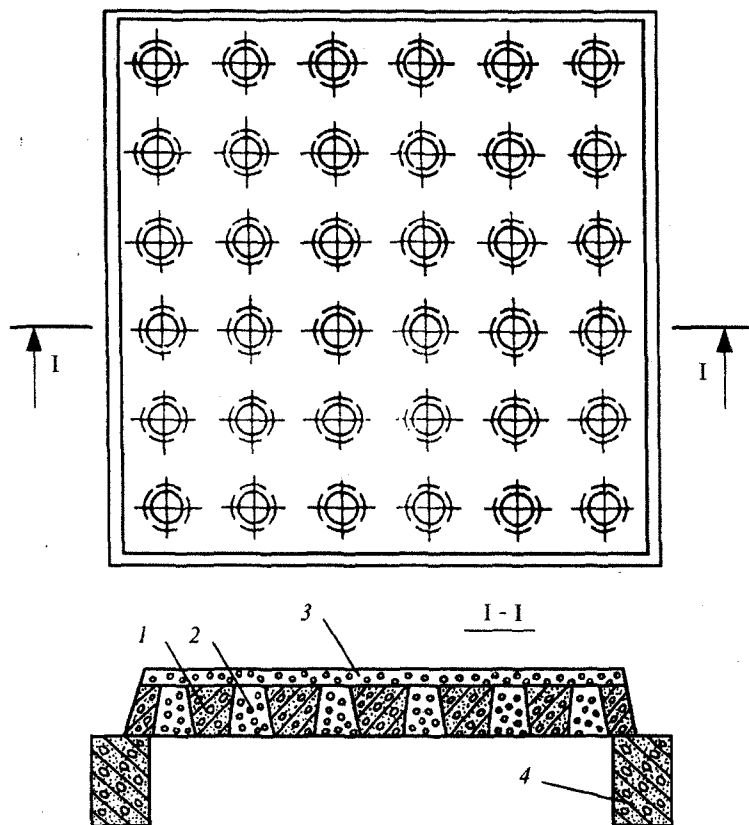


Рис. 1.38. Дренажная плита: 1 – железобетонная плита; 2 – отверстия, заполненные полимербетоном; 3 – слой полимербетона; 4 – опора плиты

Патрубковый дренаж и «сэндвич» рекомендуют для напорных фильтров. Несущей конструкцией в них является металлический лист с отверстиями, к которым приварены патрубки, заполненные полимербетоном.

Конструкция «сэндвич» отличается тем, что в листе высверливаются отверстия, размеры которых обеспечивают необходимое гидравлическое сопротивление. Слой пористого полимербетона, укладываемый сверху, выполняет в основном функцию экрана, не допускающего проникновения мелких частиц загрузки в поддон.

Полимербетонные дренажи начали применяться с 1975 г. и установлены на фильтровальных сооружениях в городах Уфе, Калининграде, Ставрополе, Красногорске, Одессе, Симферополе и др.

Наряду с распределительными предложено использовать и отводные системы из полимербетона в двух модификациях: пористая стенка и пористые трубы. В первом варианте вдоль сборного канала фильтра монтируется наклоненная внутрь фильтра двухслойная пористая стенка. Пористые трубы монтируются вместо желобов над загрузкой. Использование этих труб позволяет расширить область применения водо-воздушной промывки. Ее можно использовать и для легких фильтрующих материалов (керамзит, антрацит и т.п.), поскольку их вынос практически исключен. Кроме того, предлагаемые конструкции позволяют устранить грязевые скопления на поверхности и повысить полезную производительность на 8–10 %.

Хорошо зарекомендовала себя на практике конструкция дренажных систем «щелевая лента». Лента выполняется из нержавеющей стали, которая вставляется в пазы полиэтиленовой трубы по всей длине и крепится хомутами через 300 мм.

Возможна безтрубная технология: ложное дно, каналы.

Ширина щелей 0,05–2 мм, длина щели 10 мм, площадь щелей от площади фильтра 0,25–3 %.

Главное достоинство этой конструкции состоит в надежности: до 50 лет безремонтной работы с тем же качеством фильтрации, как и в первый год работы, за счет узкой щели и конструктивных особенностей, не требуется поддерживающего слоя, не происходит обрастания отложениями кальция.

Схема очистки воды с применением данной конструкции работает в городе Ижевске с 1988 г. Переоборудованы уже свыше 40 фильтров в Нижнем Новгороде, Волгограде, Ростове-на-Дону, Новосибирске и ряде малых городов.

Находят применение и дренажные системы «Полидеф», созданные на базе полиэтиленовых перфорированных труб, покрытых защитно-фильтрующим слоем (рис. 1.39). Системы «Полидеф» могут использоваться в качестве сборных систем в фильтрах водоподготовки.

В данных дренажных системах следующие параметры: наружный диаметр 125–175 мм, длина элементов 1000–2000 мм, пористость 80–200 мкм, скважность каркаса 0,3–0,45 %. Максимально допустимый напор в системе 4–5 м вод. ст., минимальный задерживающий диаметр-эквивалент песка 0,3 мм.

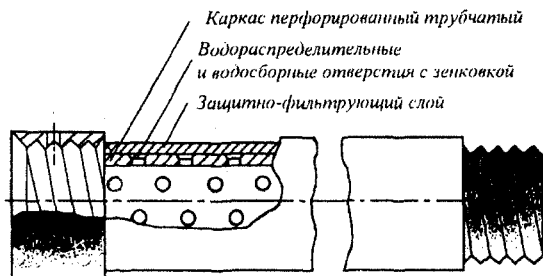


Рис. 1.39. Дренажная система «Полидеф»

Отличительными чертами и достоинствами систем «Полидеф» являются отказ от поддерживающих слоев, отсутствие центров кристаллизации, высокая прочность и долговечность, химическая стойкость выше стойкости аналогичных систем на 20–25 %.

### 1.5.8. Обеззараживание природных вод

В практике водоподготовки в настоящее время для окисления примесей воды и ее обеззараживания повсеместно используется жидкий хлор. Одним из альтернативных методов обеззараживания является использование гипохлорита натрия. Эта технология надежна и проста в эксплуатации, не требует существенных конструктивных изменений. Она может быть применена как на небольших, так и на крупных водоочистных станциях.

Разработанная технология в АО «Водоканал» города Кемерово (рис. 1.40) позволяет улучшить экологическую ситуацию населенного пункта ввиду исключения запасов хлора в нем, повысить экологическую и гигиеническую безопасность производства; повысить стабильность и качество воды; снизить коррозию оборудования и трубопроводов в 10–20 раз.

Обеззараживание путем применения гипохлорита натрия допускается на станциях водоподготовки с расходом хлора до 50 кг/сут.

Особенностью применяемых ранее электролизеров типа ЭН являлось то, что это были аппараты циклического действия с длительностью одного цикла 0,75–6 ч, что вызывало определенные неудобства в эксплуатации. В связи с осуществлением в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» мероприятий по сокращению объектов, использующих жидкий хлор, разработаны, изготовлены и внедрены электролизеры для получения гипохлорита натрия НПК «Эколог». Их особенностью является непрерывность процесса электролиза. Основные технические характеристики электролизеров НПК «Эколог» типа АОХ-2 приведены в табл. 1.7.

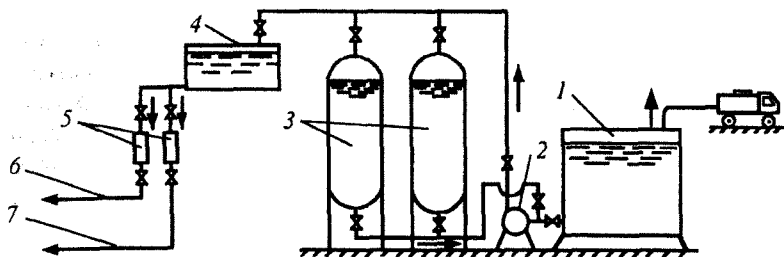


Рис. 1.40. Технологическая схема применения гипохлорита натрия: 1 – приемная емкость; 2 – насос; 3 – баки хранилища; 4 – расходный бак; 5 – дозаторы; 6, 7 – подача гипохлорита натрия на первичное и вторичное хлорирование

Таблица 1.7

| Тип электролизера | Производительность по активному хлору, кг/ч | Мощность блока питания, кВт | Объем электролизера, л | Раствор солевого раствора, л/ч |
|-------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| АОХ-2-1           | 0,5–0,7                                     | 6                           | 35                     | 90                             |
| АОХ-2-2           | 1–1,5                                       | 12                          | 50                     | 200                            |
| АОХ-2-1М          | 6–8                                         | 24                          | 80                     | 1000                           |
| АОХ-2-2М          | 16                                          | 60                          | 150                    | 2000                           |

Расход электроэнергии составляет 6–8 кВт·ч на 1 кг активного хлора, в аппаратах марки ЭН 7–14 кВт·ч.

По существующим нормативным данным обеззараживание воды с помощью бактерицидного излучения следует применять для подземных вод при условии постоянного выполнения требований ГОСТ 2874-82 по физико-химическим показателям. Однако широко поставленные исследования, проводимые с конца 70-х годов за рубежом и в России, появление нового оборудования, отвечающего современным требованиям, выявили, что метод УФ-обеззараживания может успешно применяться в условиях эксплуатации средних и крупных очистных сооружений хозяйственно-питьевой воды из поверхностных источников водоснабжения взамен первичного хлорирования.

Действующие станции очистки воды могут быть оснащены современным УФ-оборудованием без изменения технологических процессов подготовки питьевой воды, без длительных перерывов в работе станции и снижения расхода обрабатываемой воды. При удовлетворительном качестве поверхностной воды по специфическим органическим показателям образование хлорорганических соединений в процессе водоочистки может быть исключено при полной или частичной замене первичного хлорирования на УФ-обработку, что принципиально и проще озонирования.

Опыт применения ультрафиолета в мировой практике показывает, что если в установке обеспечивается облучение не ниже определенного значения, то при этом гарантируется устойчивый эффект обеззараживания. Минимальная доза облучения, согласно международным требованиям, должна быть не менее  $16 \text{ мДж/см}^2$ . Необходимость слежения в современных УФ-установках только за электрическими параметрами позволяет легко автоматизировать процесс контроля за дозой облучения и обеспечить отклик на ее снижение ниже удовлетворительного «худшего» предела. Автоматизация возможна от вывода световой и звуковой сигнализации на центральный пульт управления диспетчера до автоматического включения и выключения исполнительных секций обеззараживания и прекращения потока воды.

В настоящее время в России в НПО ЛИТ выпускаются установки УДВ, в которых используются новейшие высокоэффективные холодные бактерицидные лампы со сроком службы не менее одного года. Эти лампы способны создавать минимальную дозу облучения  $>16 \text{ мДж/см}^2$ .

Некоторые характеристики установок УДВ для обеззараживания питьевой воды приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

| Наименование                                           | Производительность,<br>не более, $\text{м}^3/\text{ч}$ | Электропотребление,<br>не более, кВт·ч |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <i>Вода артезианская, ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая»</i> |                                                        |                                        |
| УДВ-5/1                                                | 5                                                      | 0,1                                    |
| УДВ-10/2                                               | 10                                                     | 0,2                                    |
| УДВ-50/7                                               | 50                                                     | 0,6                                    |
| УДВ-100/14                                             | 100                                                    | 1,2                                    |
| УДВ-150/21                                             | 150                                                    | 1,8                                    |
| УДВ-1000/144                                           | 1000                                                   | 14,0                                   |
| <i>Вода поверхностная</i>                              |                                                        |                                        |
| УДВ-1000/288                                           | 1000                                                   | 26,0                                   |

По оценке зарубежных специалистов стоимость УФ-обеззараживания природных и сточных вод ниже стоимости хлорирования и озонирования. Замена хлора на УФ-излучение на действующих станциях возможна на базе имеющихся производственных площадей.



## 1.6. Реконструкция водонапорных башен и резервуаров

Емкость резервуаров в системах водоснабжения в зависимости от назначения должна включать регулирующий, пожарный, аварийный и контактный объемы воды.

Для общей вместимости резервуаров, зачастую, главным является регулирующий объем, который определяется на основании графиков поступления и отбора воды. При отсутствии графиков объем должен определяться по формуле

$$W_p = Q_{\text{сут макс}} \left[ 1 - K_n + \left( \frac{K_q}{1} \right) \left( \frac{K_n}{K_q} \right)^{\frac{K_q}{K_q - 1}} \right], \quad (1.38)$$

где  $Q_{\text{сут макс}}$  — расход воды в сутки максимального водопотребления, м<sup>3</sup>/сут;  
 $K_n$  — отношение максимальной часовой подачи воды в регулируемую емкость при станциях водоподготовки, насосных станциях или в сеть водопровода с регулирующей емкостью к среднему часовому расходу в сутки максимального водопотребления;  $K_q$  — коэффициент часовой неравномерности отбора воды из регулирующей емкости или сети водопровода с регулирующей емкостью, определяемый как отношение максимального часового отбора к среднему часовому расходу в сутки максимального водопотребления.

При обосновании в емкостях допускается предусматривать объем воды для регулирования суточной неравномерности водопотребления. Поскольку в последнее время на насосных станциях начали применяться насосы с регулируемым электроприводом, то становится возможным практически сблизить графики водоподдачи и водопотребления. Различие между  $K_n$  и  $K_q$  будет определяться только точностью поддержания регулируемого параметра постоянным (расход, напор, уровень). При  $K_n \approx K_q$  рассчитываемая величина регулирующего объема станет очень малой.

Величина суммарного объема всех емкостей в системе подачи и распределения воды, предназначенного для регулирования суточной неравномерности водопотребления,  $W_{\text{сут}}$ , м<sup>3</sup>, определяется на основании технико-экономических расчетов, при которых определяются суммы капитальных затрат на регулирующие емкости и очистные сооружения при различных значениях коэффициента  $m$ , вычисленного по формуле

$$m = \frac{K_{\text{сут.ос}}}{K_{\text{сут}}}, \quad (1.39)$$

где  $K_{\text{сут.ос}}$  – расчетный максимальный коэффициент суточной неравномерности работ очистных сооружений ( $K_{\text{сут.ос}} \leq K_{\text{сут}}$ );  $K_{\text{сут}}$  – максимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления.

Величина регулирующего объема емкостей,  $W_{\text{сут}}$ , предназначенных для регулирования суточной неравномерности в долях величины среднего за год суточного расхода воды, определяется в зависимости от значения коэффициентов  $m$  и  $K_{\text{сут}}$  по табл. 1.9.

Таблица 1.9

| $m$                                               | 1 | 0,99  | 0,98  | 0,97  | 0,96  | 0,95  | 0,94  | 0,93  | 0,92  | 0,915 |
|---------------------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $W_{\text{сут}}$ (при $K_{\text{сут}} \leq 1,4$ ) | 0 | 0,044 | 0,025 | 0,037 | 0,056 | 0,088 | 0,142 | 0,275 | 0,63  | 1     |
| $W_{\text{сут}}$ (при $K_{\text{сут}} > 1,4$ )    | 0 | 0,005 | 0,022 | 0,049 | 0,083 | 0,137 | 0,198 | 0,269 | 0,352 | 0,397 |

Необходимость строительства и объем новых емкостей в системе подачи и распределения воды (ПРВ) определяется по разности между суммой  $W_{\text{сут}}$  и  $W_{\text{ч}}$  и существующими в системе объемами для регулирования суточной и часовой неравномерности. При определении существующего объема регулирования следует использовать данные о колебаниях объемов существующих емкостей в разные сутки (по данным эксплуатационных организаций). При отсутствии таких данных допускается принимать следующее распределение суммарного объема всех емкостей между объемами различного назначения, %,  $W_{\text{суц}} : W_{\text{ч}} = 40 - 50$ ;  $W_{\text{сут}} = 10 - 15$ ;  $W_{\text{ав}} = 40 - 50$ , где  $W_{\text{ав}}$  – объем емкостей для хранения аварийного и противопожарного запасов воды.

При определении  $W_{\text{сут}}$  должны быть учтены объемы всех емкостей в системе, в том числе и емкости на промышленных предприятиях, используемых для регулирования неравномерности водоподачи в системе ПРВ.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р22.6.01-95, все резервуары питьевой воды должны быть оборудованы устройствами для отбора воды в передвижную тару. Расстояние между пунктами раздачи воды в передвижную тару должно быть не более 1,5 км. Отбор воды осуществляется из отводящего трубопровода в колодцах. К колодцам должен быть организован подъезд размером не менее 12×12 м для автонасоса с цистерной.

Для обеспечения необходимого контакта воды с вводимыми в нее реагентами, полного обмена воды по всему объему и исключения образования застойных мест резервуары питьевой воды должны быть оборудованы системой внутренних перегородок, обеспечивающих последовательное движение воды по резервуару от подачи к разбору.

## Контрольные вопросы

1. Какие положительные и отрицательные стороны имеет реконструкция систем водоснабжения и водоотведения?
2. Почему возникает необходимость в реконструкции систем водоснабжения и водоотведения?
3. Как изменяется водоотдача артезианских скважин во время их эксплуатации?
4. Почему качество воды в скважине может ухудшаться?
5. Расскажите о методах диагностики и обследования скважин.
6. Назовите приемы восстановления дебита скважин.
7. Какие два направления реконструкции водозаборных сооружений из открытых источников вы запомнили?
8. Назовите приемы сохранения и увеличения производительности насосных агрегатов в насосных станциях I и II подъемов.
9. В чем состоят преимущества использования погружных насосов?
10. Что дает применение насосов с регулируемым приводом?
11. Назовите комплекс проблем, возникающих при реконструкции водопроводных сетей и водоводов.
12. С какой целью выполняется манометрическая съемка водопроводной сети?
13. Как можно повысить пропускную способность водоводов?
14. Назовите приемы восстановления пропускной способности трубопроводов.
15. В чем суть применения новых технологических схем очистки природных вод?
16. Какие приемы интенсификации процесса коагуляции природных вод вы запомнили?
17. Опишите новые конструкции смесителей и камер хлопьеобразования.
18. Каковы основные направления интенсификации работ сооружений для осветления природной воды?
19. Охарактеризуйте современные методы обеззараживания питьевой и очищенной сточной воды.

## 2. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

### 2.1. Реконструкция насосных станций сточных вод

Необходимость в реконструкции канализационных насосных станций (КНС) возникает вследствие изменения графика притока сточных вод и их количества, а также вследствие изменения гидравлической характеристики напорных водоводов. Чаще всего возникает необходимость увеличить производительность насосной станции и развиваемый ею напор. Наиболее простым решением может быть установка дополнительных рабочих насосов, если для этой цели были предусмотрены свободные фундаменты или замена существующих насосов на более мощные. В обоих случаях может возникнуть проблема необходимости увеличения мощности трансформаторов.

Весьма заманчиво использовать для целей реконструкции погружные канализационные насосы. Подобные насосы большой производительности выпускает и монтирует финская фирма «Сарлин». При реконструкции канализационных насосных станций выбор конструкции насосов (горизонтальных или вертикальных) нужно производить с учетом следующих факторов: при использовании горизонтальных насосов упрощается конструкция и значительно уменьшается длина трубопроводов и напорных коллекторов в помещении машинного зала, что снижает капитальные затраты на строительство и реконструкцию канализационной насосной станции.

Применение вертикальных насосов требует более высокой их установки относительно уровней воды в приемном резервуаре, что может неблагоприятно отразиться на работе канализационной насосной станции. При этом возникают дополнительные потери в поворотных коленах, составляющие до 1,5–2 м при подачах 500–800 л/с.

Одним из преимуществ насосов фирмы «Сарлин» является возможность регулировки уплотнительного специального зазора между рабочим колесом и корпусом насоса без его разборки и замены изнашивающихся деталей. Насосы фирмы «Сарлин» имеют более высокий коэффициент полезного действия (на 10–17 %) по сравнению с отечественными насосами СД и СДВ и меньшую мощность двигателя, что важно при реконструкции КНС.

При реконструкции насосных станций существенной экономии можно достичь установкой насосов при контактном погружении. Таким образом можно увеличить производительность насосных станций, используя подземную часть сооружений в качестве приемных резервуаров.

Вместе с погружными насосами фирма «Сарлин» поставляет и комплектные насосные станции. Пример такой реконструкции КНС выполнен в районе Рыбацкое в Санкт-Петербурге. Комплектная насосная станция представляла собой резервуар, изготовленный из армированной стекловолокном пластмассы, диаметром 1,8 м и высотой 7 м. Внутри резервуара помещены погружные насосы «Сарлин» SV074B1 мощностью 7 кВт (один рабочий и один резервный), внутренние трубопроводы из нержавеющей стали, арматура  $D_y$  100 мм, напорный трубопровод  $D_y$  200 мм с напорными патрубками для соединения с напорными коллекторами. Материалы, используемые для изготовления комплектных насосных станций, коррозионно-устойчивы к сточной воде. Канализационная насосная станция полностью изготавливается, испытывается, комплектуется на заводе и доставляется на строительную площадку. Свободные внутренние пространства между резервуаром комплектной станции и стенами машинного зала в данном случае заполнили грунтом до нулевой отметки, верхнюю часть резервуара с люком для монтажа насосов выполнили выступающей на 25 см над полом в помещении КНС. В приемном отделении возможно в некоторых случаях демонтировать решетку для механической очистки сточных вод ввиду того, что насосы «Сарлин» имеют большое пропускное сечение (более 80 мм). Монтаж комплектной насосной станции «Сарлин» осуществляли в течение двух недель.

Комплектная насосная станция работает в автоматическом режиме без присутствия обслуживающего персонала. Щит управления снабжен микропроцессорным контролером «Сарлин» PM500, обеспечивающим режим локальной автоматики на КНС: управление работой насосов в зависимости от уровня сточной воды, поочередность включения насосов, диагностика состояния электродвигателей и насосов, аварийная сигнализация, контроль и учет потребляемого тока, электроэнергии, наработка и число пусков насосов, учет объема перекачиваемых стоков и другие функции.

На рис. 2.1 представлена аналогичным образом реконструированная канализационная станция промышленной зоны Средняя Рогатка в Санкт-Петербурге производительностью 200 м<sup>3</sup>/ч. На КНС размещена комплектная насосная станция диаметром 2,2 м с тремя погружными насосами S1 174 M1 (два рабочих и один резервный).

В приемном отделении установлена механическая решетка с увеличенными зазорами в 60 мм, что позволяет существенно снизить нагрузку на решетку и соответственно объем работ по ее обслуживанию. Опыт эксплуатации показывает, что при удовлетворительном состоянии канализа-

ционных сетей перекачивание сточной жидкости погружными насосами «Сарлин» можно осуществлять без механической очистки на КНС.

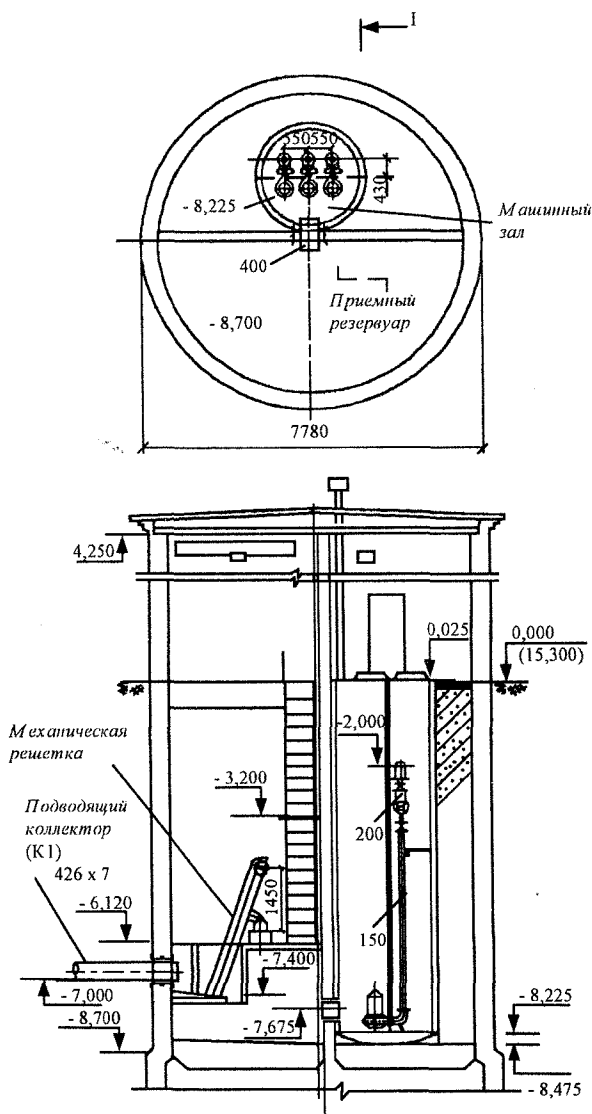


Рис. 2.1. Реконструкция КНС на основе комплектной насосной станции

При реконструкции обеих КНС использованы комплектные насосные станции с резервуарами объемом в 3-4 раза меньше действующих сооружений, производительность КНС повысилась в 2-3 раза за счет использования погружных насосов «Сарлин» при высокой допустимой частоте включения (15 раз в час) и режиме их чередования. Комплектные насосные станции «Сарлин» могут быть использованы для строительства сооружений производительностью выше  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Подобные комплектные насосные станции на базе погружных насосов разработала и известная фирма «Флайт». Частота включения насосов возможна до 60 раз в час. Таким образом, размеры станции резко сокращаются, а их самоочищающая способность от седиментирующих и всплывающих частиц возрастает. Подобные станции установлены в городах Мурманске, Новополюеке, Уфе, Орехово-Зуево.

В Кемерово для увеличения подачи главной канализационной насосной станции, оборудованной пятью агрегатами СДВ 2700/22,5 (400 кВт), в приемный резервуар были установлены два насоса «Флайт» Cs 3305 (90 кВт). В результате производительность насосной станции увеличилась на  $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . За счет оптимизации режима откачки и меньшей мощности насосов потребление электроэнергии снизилось на одну треть.

Основными достоинствами сухой установки насосов фирмы «Флайт» можно назвать следующие:

1. Насосы «Флайт» более компактны, и за счет их установки можно значительно увеличить производительность насосной станции. Особенно это заметно при реконструкции существующих канализационных станций: длина электронасосного агрегата СД 450/22,5, габариты насоса СТ 3602 в плане одинаковы: 1850 мм. Подача соответственно 450 и  $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При этом малый объем приемного резервуара не мешает работе насосов, поскольку подавляющее большинство их допускает 15 включений в час.

2. Для насосов «Флайт», установленных в машинном отделении станции, затопление его совершенно не опасно.

3. Насосы «Флайт» имеют внутреннюю систему охлаждения перекачиваемой жидкости (при температуре подаваемой воды выше  $40^\circ\text{C}$  требуется внешнее водяное охлаждение).

4. Установленная мощность двигателей насосов «Флайт» в 1,5–2 раза ниже, чем у отечественных при одинаковых параметрах подачи и напора.



## 2.2. Реконструкция сооружений по очистке сточных вод

### 2.2.1. Главные причины низкой эффективности очистки сточных вод на действующих сооружениях

Одной из важнейших причин низкой эффективности работы очистных сооружений является несоответствие принятой технологии очистки сточных вод количеству, составу и качеству сточных вод.

Особенно часто причина малоэффективной работы очистных сооружений выявляется, когда в смеси сточных вод, которые приходят на очистные сооружения, есть большая часть специфически загрязненных производственных сточных вод. Недоучет специфики производственных сточных вод и использование при тестировании нормативных данных действующих СНиП зачастую приводят к необоснованно завышенной удельной скорости окисления загрязнений и доз активного ила в зоне аэрации при расчете биофильтров и завышению окислительной мощности загрузки.

Производительность биологических очистных сооружений определяется двумя основными расчетными параметрами: расходом сточных вод и количеством загрязнений, которые могут быть задержаны и обезврежены на очистных сооружениях. Наиболее тяжелая ситуация возникает, если перегрузки по этим двум параметрам наступают одновременно.

Возрастание скорости движения воды в прозорах решеток и в песколовках может вызвать определенные затруднения в эксплуатации всей станции очистки, но ухудшение работы именно этих сооружений не влияет на конечный эффект очистки так серьезно и непосредственно, как, например, ухудшение работы первичных отстойников.

Первичные отстойники следует считать наиболее слабым звеном в технологической цепочке практически всех используемых схем биологической очистки сточных вод. Отстойники всех типов резко снижают эффективность осветления сточных вод при расходах, превышающих расчетные. В свою очередь, это приводит к увеличению концентрации взвешенных веществ, которые поступают в аэротенки или биологические фильтры, и увеличению нагрузки на них по органическим загрязнениям. При этом может возникнуть угроза заиливания биофильтров.

При наличии в сточных водах жиров, нефтепродуктов, с также при неудовлетворительной работе первичных отстойников загрузка биофильтров покрывается жировой или нефтяной пленкой и становится, как правило, непригодной для дальнейшей работы. Повышение концентрации жиров и нефтепродуктов неблагоприятно влияет и на очистку сточных вод в аэротенках.

В случае недостаточного осветления сточных вод возрастает нагрузка на активный ил, увеличивается его количество, возрастает зольность. В перегруженных аэротенках начинает остро ощущаться недостаток кислорода.

Таким образом, превышение расчетной производительности сточных вод не только сокращает продолжительность биологической очистки в аэротенках и биофильтрах, но и увеличивает нагрузку на эти сооружения через загрязнение.

Сокращение продолжительности отстаивания сточных вод во вторичных отстойниках приводит к увеличению концентрации взвешенных веществ в очищенной воде. Повышенный вынос с очищенной водой активного ила в количестве, превышающем его прирост, может привести к снижению концентрации ила в аэротенках и снижению их окислительной мощности.

Неравномерность поступления сточных вод негативно влияет на работу всего комплекса очистных сооружений и чаще наблюдается на очистных сооружениях небольшой производительности.

Резкое уменьшение расхода в ночные часы или праздничные дни приводит к загниванию сточных вод в приемных резервуарах насосных станций и первичных отстойниках, к угнетению и гибели значительной части микроорганизмов, которые населяют биологическую пленку биофильтров, или к самоокислению активного ила при недостатке питания. Возможно также переохлаждение воды в зимний период, заиливание подводящих каналов, осаждение органических примесей в песколовках и т.д.

В отдельных случаях причиной значительной неравномерности поступления сточных вод могут быть насосные станции, оборудованные мощными насосами и приемными резервуарами большой емкости. Периодическая откачка сточных вод приводит к залповым поступлениям их на очистные сооружения, которые чередуются с периодами полного прекращения подачи сточных вод.

Большая неравномерность поступления сточных вод на очистные сооружения наблюдается обычно одновременно с резкими сменами состава и концентрации загрязнений сточных вод. Залповые поступления токсичных добавок в концентрациях, превышающих гранично-допустимые, могут нарушить их нормальную работу или полностью вывести из строя сооружения для биологической очистки.

Наличие в сточных водах различных токсичных примесей, пагубно влияющих на биологические процессы, наблюдается на многих очистных сооружениях. Главным способом защиты биологических очистных сооружений от действия токсических элементов является удаление их из сточных вод на локальных очистных сооружениях промышленных предприятий. Однако не все предприятия имеют такие сооружения, а действующие зачастую работают недостаточно эффективно. К тому же исследования сточных вод, поступающих из жилых массивов городов, показыва-

ли, что сточные воды, образующиеся в квартирах, содержат ионы тяжелых металлов (ИТМ) (железо, медь, цинк, никель) в значительных количествах. Причина этого явления окончательно не установлена. Эти обстоятельства вынуждают учитывать возможность проявления токсичного действия разных загрязнений практически во всех случаях очистки сточных вод от населенных пунктов.

Недостаточное содержание в сточных водах биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, приводит к ухудшению физических и биохимических свойств активного ила и биопленки, тормозит рост микроорганизмов и весь процесс биохимического окисления органических веществ.

Длительная нехватка азота приводит к образованию трудно оседающего активного ила. При недостатке в сточной воде фосфора в активном иле начинают превалировать нитчатые формы бактерий, что ухудшает его способность к оседанию, одновременно замедляется рост микроорганизмов и скорость окисления загрязнений.

В практических расчетах учитывают известное положение о том, что необходимое минимальное содержание азота должно быть 5 г, фосфора 1 г на каждые 100 г/м<sup>3</sup> БПК<sub>п</sub> сточных вод, которые поступают на биологическую очистку.

Недостаток биогенных элементов может быть причиной неудовлетворительной работы аэротенков или биофильтров. Конструктивные недостатки и нарушение правил технической эксплуатации очистных сооружений также могут оказаться причиной неудовлетворительного функционирования очистных сооружений.

Неудовлетворительная работа решеток вызывает нарушение работы песколовков и первичных отстойников из-за выпадения в осадок крупных отбросов, которые могут засорить гидроэлеваторы и трубопроводы для транспортирования осадков. Крупные отбросы могут пройти через решетки при увеличении прозоров более 16 мм при длительной эксплуатации решеток.

Повышенный вынос песка из песколовков в первичные отстойники осложняет удаление и транспортирование осадков и их дальнейшую обработку. Главными причинами повышенного выноса песка из песколовков являются:

- гидравлические возмущения потока воды вследствие работы гидроэлеваторов;
- резкое изменение направления и поперечного сечения каналов на входе и выходе из песколовки;
- несвоевременное и неполное удаление осадка, обусловленное недостаточным наклоном стенок песковых приемков;
- несвоевременное включение в работу резервных отделений при увеличении расхода сточных вод.

Недостаточно эффективная работа первичных отстойников в часы поступления сточных вод с расходом, превышающим расчетный, чаще всего вызывается неравномерностью распределения сточных вод по отдельным отстойникам: тех, что поступают, и сбором осветленных сточных вод в границах каждого отстойника, несвоевременным и неполным удалением осадка и всплывших веществ.

Неравномерность распределения сточных вод в пределах отстойников возникает и вследствие нарушения целостности и горизонтальности водослива распределительного лотка, подтопления его со стороны отстойной зоны; недостаточного или неодинакового по ширине заглубления полузаглубленной доски, которая устанавливается на входе в отстойник; отклонения от нормативных размеров раструба центральной трубы и отбивного щита; из-за негоризонтальности водосливной кромки кругового сборного лотка по причине перекосов кожуха и надмерного накопления загрязнений, которые всплывают между стенками кожуха и центральной трубой.

Неполное удаление осадка из отстойников происходит по причине недостаточного угла наклона стенок осадочных приемков, стенок вертикальных и двухъярусных отстойников. Загнивание осадка приводит к выделению газов брожения, всплыванию осадка и выносу его осветленной водой.

К конструктивным недостаткам аэротенков, ухудшающим их работу, надо отнести некачественное крепление фильтросных пластин в фильтросных каналах, что приводит к отрыву части пластин и резкому ухудшению равномерности распределения воздуха по длине аэротенка. Кроме того, в процессе эксплуатации фильтросные пластины зарастают и засоряются, возрастают потери напора и соответственно уменьшается производительность воздуходувок. Механические аэраторы работают недостаточно надежно вследствие выхода из строя редукторов, подшипников, ведущих звездочек цепных передач, электродвигателей аэраторов, обмерзания элементов аэратора в зимний период.

В случае значительных колебаний уровня воды в аэротенке из-за неравномерности поступления сточных вод степень заглубления механических аэраторов, закрепленных на определенной высоте, может не совпадать с оптимальной. Аэрация и перемешивание иловой смеси ухудшаются. Особенно сильно это проявляется в аэротенках-вытеснителях.

Существенно влияют на работу аэротенков эффективность разделения иловой смеси во вторичных отстойниках и режим циркуляции активного ила. Длительное пребывание части активного ила в анаэробных условиях, обусловленное недоскональной системой удаления его из вторичных отстойников, ухудшает качество ила и снижает эффект биологической очистки сточных вод. К аналогичному результату может привести недостаточный расход циркуляционного активного ила, который перекачивается из вторичных отстойников в аэротенки. Это чаще всего встречается на перегруженных

очистных сооружениях, когда при увеличенных расходах сточных вод производительность рециркуляционных насосов остается неизменной.

Работа вторичных отстойников резко ухудшается при вспухании активного ила, когда иловый индекс превышает  $150 \text{ см}^3/\text{г}$ . Такой процесс происходит чаще всего по причине недостаточного количества растворенного кислорода в иловой смеси; из-за высокой концентрации в сточной воде легко окисляемых углеводов; недостатка азота или фосфора; загнивания сточных вод; низкого значения pH сточных вод; резких смен нагрузки на ил, которые вызывают отклонения от оптимальных нагрузок.

Эффективность действия биофильтров может снижаться вследствие неравномерного распределения сточных вод по всей площади загрузки. Это обусловливается недоброкачественной работой дозирочных бачков, разрушением спринклеров и подводящих трубок из-за коррозии и по другим причинам. К нарушению эксплуатационных показателей приводит неоднородная загрузка со значительными примесями (более 5 %) фракций меньшего размера, по сравнению с нормированным. В таком биофильтре резко ухудшаются условия фильтрования воды, удаление биопленки и вентиляция загрузки. Для предупреждения заиливания загрузки биофильтров (особенно капельных) рекомендуется тщательное предварительное осветление сточных вод, чтобы концентрация взвешенных веществ в воде, подаваемой на биофильтр, не превышала  $100 \text{ мг/л}$ .

Кроме перегрузок к нарушению работы биофильтров могут привести значительные колебания гидравлической нагрузки, даже если средние ее значения не входят в нормативные пределы. При недостаточном количестве сточных вод не будет происходить своевременный смыл биопленки, которая начнет накапливаться в загрузке биофильтра. В загрузке разовьются анаэробные процессы с выделением газов брожения, отрывом биопленки от материала загрузки. При этом вместе с биопленкой выносятся значительная часть неокисленных органических веществ. Вынос из биофильтров неотработанной биопленки является причиной плохого осветления сточных вод во вторичных отстойниках, поскольку такая биопленка плохо оседает, чаще всего загнивает и выносятся из отстойников.

К главным причинам нарушения нормальной работы очистной станции относится также перерыв в подаче электроэнергии, невыдерживание сроков планово-предупредительного ремонта сооружений и оборудования, нарушение обслуживающим персоналом технической эксплуатации канализационных сооружений.

При перерыве в подаче электроэнергии прекращается подача в аэротенки воздуха и рециркуляционного ила, нарушается весь ход технологического процесса.

Выключение рециркуляционных насосов на сооружениях с биофильтрами может привести к заилению фильтрующей загрузки, нарушить режим

работы песколовок и первичных отстойников, которые оборудованы скребковыми механизмами и насосами для удаления осадка.

Кроме отмеченных основных причин низкой эффективности работы очистных сооружений надо отметить и еще одну. Речь идет о сооружениях для обработки осадков из песколовок, сырого осадка из первичных отстойников, избыточного активного ила или биопленки. При неэффективной работе сооружений для обработки осадков на многих станциях возникают серьезные нарушения технологических режимов очистки сточных вод.

### **2.2.2. Обследование и анализ работы действующих очистных сооружений**

Решение о реконструкции очистных сооружений принимается на основании тщательного анализа их работы, выяснения действительных причин низкой эффективности очистки сточных вод. Такой анализ проводят проектировщики совместно с эксплуатационным персоналом очистных сооружений и с участием работников научно-исследовательских и проектных организаций.

В процессе анализа работы действующих очистных сооружений в первую очередь необходимо получить информацию о действительном расходе сточных вод и режиме их поступления, о составе и концентрации загрязнений. Для этого следует воспользоваться отчетами о ежегодной работе сооружений. При отсутствии водоизмерительных приборов используют специальные водоизмерительные приспособления в виде водосливов или других устройств. При насосной перекачке сточных вод на очистные сооружения их расход можно определить по продолжительности опорожнения приемного резервуара насосной станции, если известен его объем, и прекращении поступления сточных вод в период откачки.

Целесообразно построить суточные графики поступления сточных вод на очистные сооружения для определения характерных периодов работы. По графикам можно определить суммарный расход, максимальный и минимальный часовой и секундный расходы, коэффициент неравномерности поступления сточных вод.

Одновременно с определением расхода сточных вод целесообразно вести отбор проб воды для лабораторного определения БПК<sub>п</sub> и ХПК, концентрации взвешенных веществ, специфических загрязнений, биогенных элементов, рН и других показателей качества воды, необходимых для оценки работы отдельных сооружений и всей станции очистки. Полученные в результате измерений расходы позволяют вычислить скорость движения и продолжи-

тельность пребывания сточных вод в отдельных сооружениях, оценить степень соответствия расчетных параметров нормативным.

Определив максимальные, минимальные и средние концентрации загрязнений, а также их колебания на протяжении суток, можно достоверно оценить нагрузку через загрязнения на очистные сооружения в разные периоды эксплуатации. На основании данных делается вывод о целесообразности использования и расчета усреднителя сточных вод.

Эффективность работы каждого сооружения на очистной станции оценивается по результатам технологического контроля. При низком эффекте осветления сточных вод в первичных отстойниках целесообразно в лабораторных условиях определить количество оседающих веществ в течение 2-часового отстаивания в состоянии покоя. Количество таких веществ (в процентах от общего количества взвешенных веществ) представляет возможную степень осветления сточных вод отстаиванием. В неперегруженных отстойниках задерживается до 55–75 % оседающих веществ, или 40–50 % общего количества взвешенных веществ. Моделирование процесса отстаивания выполняется по специальной методике в сосудах диаметром не менее 100 мм с высотой зоны отстаивания не менее 500 мм.

При анализе работы аэротенков необходимо выявить следующие технологические параметры их работы:

- нагрузку на активный ил;
- объемную нагрузку;
- окислительную мощность;
- концентрацию активного ила;
- иловый индекс;
- расход воздуха на 1 кг снятой БПК.

Нагрузка на активный ил представляет собой массу загрязнений, которая подается за сутки и учитывается величинами БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>н</sub> на 1 г сухого или беззольного вещества, г БПК/(г·сут). Ее можно рассчитать по формуле

$$R = L_{en} \frac{Q}{a_i W}, \quad (2.1)$$

где  $L_{en}$  – БПК сточной воды, которая поступает в аэротенки, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – суточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>;  $a_i$  – концентрация активного ила, г/м<sup>3</sup>;  $W$  – реактивный объем аэротенка, м<sup>3</sup>.

Объемная нагрузка вычисляется в кг БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>н</sub>, которое приходится на 1 м<sup>3</sup>/сут·м<sup>3</sup> реактивного объема аэротенка.

Окислительная мощность выражается массой удаленных на протяжении суток загрязнений, что учитывается величинами БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>н</sub>, отнесен-

ной к  $1 \text{ м}^3$  реактивного объема аэротенка, кг БПК/( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ), и вычисляется следующим образом:

$$OM = (L_{en} - L_{ex}) \frac{Q}{W}, \quad (2.2)$$

где  $L_{en}$  и  $L_{ex}$  – БПК соответственно неочищенных и очищенных сточных вод,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

В качестве расчетных значений БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>н</sub> принимаются средневзвешенные значения, которые вычисляются по результатам анализов сбортанных проб, отобранных на протяжении суток, соответственно, после первичных и вторичных отстойников.

Реактивный объем определяется как сумма объемов аэротенка, иловой части вторичных отстойников и рабочего объема резервуаров иловых насосных станций. При этом, определяя суммарную массу активного ила, который принимает участие в биохимическом процессе, необходимо учитывать разные концентрации активного ила собственно в аэротенке и регенераторе, в иловой части вторичных отстойников, иловых резервуарах.

Расход воздуха, подаваемый в аэротенки воздуходувками, определяется по показаниям установленных расходомеров или, в крайнем случае, по паспортным данным работающих воздуходувок с измерением развиваемого ими давления.

Сравнение найденных технологических параметров с теми, что характеризуют нормальную работу аэротенков в аналогичных условиях (табл. 2.1), и комплексная оценка этих параметров позволяют правильно оценить ситуацию и наметить возможные пути интенсификации процесса биологической очистки и реконструкции очистных сооружений.

Главными характеристиками биологических фильтров являются гидравлическая нагрузка и нагрузка через загрязнения. Гидравлическая нагрузка выражается количеством воды,  $\text{м}^3$ , которое приходится на  $1 \text{ м}^2$  площади биофильтра за сутки. Нагрузка через загрязнение – это количество загрязнений, которое оценивается БПК и подается на  $1 \text{ м}^3$  объема загрузки за сутки. Допустимые границы колебаний нагрузок биофильтров разных типов приведены в табл. 2.2.

Анализ работы сооружений для обработки осадков следует начинать с определения расчетных расходов осадков, удаляемых из песколовок и первичных отстойников, избыточного активного ила или биопленки, осадков, которые образуются при доочистке сточных вод. Сравнение фактических и нормативных параметров работы сооружений позволит оценить меру их перегрузки.



Таблица 2.1

| Технологический параметр                                                                 | Аэротенки                               |                                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                                          | Высоконагружаемый (на неполную очистку) | Средненагружаемый (на полную очистку) | Низконагружаемый (продленной аэрации) |
| Нагрузка на активный ил в расчете на 1 г беззольного вещества, г БПК <sub>5</sub> /г·сут | 1–2                                     | 0,2–0,5                               | 0,05–0,15                             |
| Объемная нагрузка, г БПК <sub>5</sub> /м <sup>3</sup> ·сут                               | 1–6                                     | 0,2–1                                 | 0,1–0,5                               |
| Окислительная способность, кг БПК <sub>5</sub> /м <sup>3</sup> ·сут                      | 0,6–5                                   | 0,18–0,95                             | 0,09–0,45                             |
| Концентрация активного ила, кг/м <sup>3</sup>                                            | 1–5                                     | 1,5–3                                 | 3–4                                   |
| Расход воздуха (при мелкопузырчатой аэрации), м <sup>3</sup> /кг БПК <sub>5</sub>        | 30–50                                   | 40–60                                 | 100–150                               |
| Иловый индекс, см <sup>3</sup> /г                                                        | 80–100                                  | 50–120                                | 40–80                                 |

Таблица 2.2

| Биофильтр                 | Высота загрузки, м | Нагрузка                                            |                                                         |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                           |                    | Гидравлическая, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·сут | По загрязнению, г БПК <sub>5</sub> /м <sup>2</sup> ·сут |
| Капельный                 | 2                  | 1–3                                                 | 100–300                                                 |
| Высоконагружаемый         | 4                  | 10–30                                               | 500–1500                                                |
| С пластмассовой загрузкой | 4                  | 30–45                                               | 1600–2200                                               |

В осадке песколовков следует определять содержание органических примесей, которые ухудшают его фильтрационные свойства. Во время обследования самих песковых площадок необходимо обратить внимание на состояние дренажной системы, наличие устройств для поверхностного отведения воды.

На эффективность функционирования илоуплотнителей существенно влияют иловый индекс и концентрация ила, поэтому задачу улучшения работы илоуплотнителей следует решать одновременно с улучшением работы аэротенков и вторичных отстойников.

Основными технологическими параметрами процессов анаэробного сбраживания, на которые следует обратить внимание, являются: температура, продолжительность пребывания осадка в метантенке, нагрузка по сухому беззольному веществу, концентрация загружаемого осадка, режим загрузки и перемешивания объема метантенка, степень распада органического вещества, зольность вещества осадка, дегидрогеназная активность, скорость потребления кислорода стабилизированным осадком, удельное сопротивление осадков фильтрации и др.

Наиважнейшими характеристиками осадков, подаваемых на иловые площадки, являются степень сбраживания и удельное сопротивление фильтрации. Эффективная эксплуатация иловых площадок зависит во многом от конструкции и состояния дренажной системы.

Учет наибольшего количества факторов, влияющих на работу очистных сооружений, их анализ, а также технологические параметры процесса очистки сточных вод и обработки осадков дают возможность установить действительные причины низкой эффективности работы сооружений и выбрать рациональные пути реконструкции и интенсификации работы всего комплекса очистной станции.

### 2.2.3. Регулируемые канализационные системы

подавляющая часть сооружений городских систем канализации рассчитывается на пропуск максимального расхода и на соответствующую ему суточную производительность. Однако большую часть суток практические расходы значительно меньше, поэтому сооружения используются не всегда оптимально. Запроектированные таким образом системы имеют резерв пропускной способности. Использовать его возможно, если сделать системы канализации зарегулированными путем устройства регулирующих емкостей. Принципиальная схема канализационной системы с регулирующей емкостью показана на рис. 2.2. В переустроенных системах производительность может определяться следующим образом:  $Q_{\text{пр}} = 86,4 g_{\text{max}}$  тыс. м<sup>3</sup>/сут, где  $g_{\text{max}}$  — пропускная способность сооружений канализации в сутки максимального притока сточных вод, м<sup>3</sup>/с. По мнению ряда авторов, за счет устройства регулируемых систем канализации можно повысить их производительность на 25–40 %.

Затраты на переустройство городских систем канализации составляют 2–4 % от затрат, израсходованных на решение этой проблемы традиционными способами (увеличение мощности очистных сооружений, строительство коллекторов и каналов-дублеров, КНС).

Регулирующий резервуар (рис. 2.2.) располагается по технологической цепочке «после» КНС. Основной технологической функцией этого сооружения является прием сточных вод от напорных водоводов КНС в часы пик (в течение которых величина расхода превышает среднее значение) с последующим самотечным опорожнением его в подводящий канал КНС или в транзитный самотечный коллектор (канал).

Разгрузка последующих после КНС сооружений и регулирующего резервуара создает в них резерв пропускной способности на величину расхода  $\Delta q = q_{\text{max}} - q_{\text{ср}}$ .

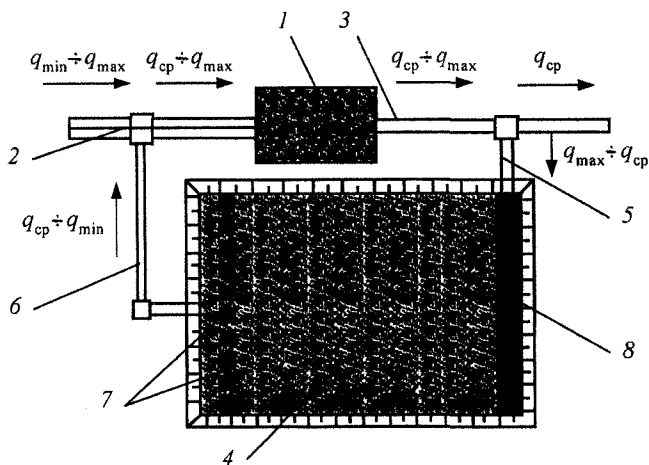


Рис. 2.2. Принципиальная схема канализационной системы с регулирующей емкостью: 1 – канализационная насосная станция перекачки сточных вод; 2 – подводящий канал; 3 – напорный водовод; 4 – регулирующая емкость; 5 – трубопровод, соединяющий напорный водовод от КНС с регулируемой емкостью; 6 – самотечный трубопровод опорожнения; 7 – фильтры-поглотители для очистки газовой смеси; 8 – галерея задвижек

При зарегулировании канализационного стока прирост мощности последующих после створа регулирования сооружений рекомендуется определять по формуле

$$\Delta Q_{\text{пр}} = Q_{1\text{пр}} \left( 1 - \frac{1}{K_{\text{ч}}} \right), \quad (3.3)$$

где  $Q_{1\text{пр}}$  – проектная мощность (производительность) сооружения, относительно которого осуществляется зарегулирование канализационного стока, тыс. м<sup>3</sup>/сут;  $K_{\text{ч}}$  – коэффициент часовой неравномерности.

Для определения мощности сооружений после зарегулирования канализационного стока следует использовать формулу

$$Q_{2\text{пр}} = Q_{1\text{пр}} \left( 2 - \frac{1}{K_{\text{ч}}} \right). \quad (3.4)$$

Зарегулирование канализационного стока городской канализационной системы целесообразно (в первую очередь) в области изменения диапазона коэффициента часовой неравномерности  $K_{\text{ч.нер}}$ . Регулирующий объем рекомендуется определять по графику (рис. 2.3).

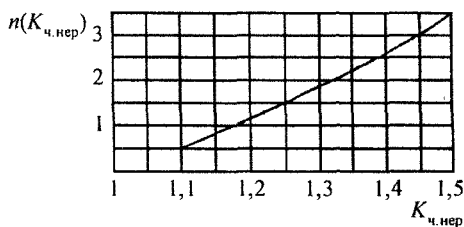


Рис. 2.3. Определение требуемого объема регулируемой емкости

Величина максимального суточного расхода  $Q_{ср.ч}$  для существующих систем канализации определяется как случайная величина с обеспеченностью 0,25 %. При отсутствии фактических данных или проектировании новых систем городской канализации  $W_{рег.емк} = 1,35Q_{ср.ч}n(K)$ , где  $Q_{ср.ч}$  — численное значение средней за год величины.

Новая технология увеличения производительностей систем водоотведения и очистных сооружений может обеспечить существенную экономию затрат на строительство и эксплуатацию канализационного хозяйства, снижение удельного показателя эксплуатационных затрат на 15–20 % и уменьшение возможного экологического ущерба от аварий на сооружениях канализации. Одним из элементов регулируемой системы канализаций являются усреднители расхода и концентрации загрязнений.

Усреднение расхода и концентраций загрязнений сточных вод обеспечивает более равномерную нагрузку очистных сооружений в течение суток, создает стабильные условия для их работы, позволяет существенно ослабить вредное влияние на биологические процессы залповых сбросов токсичных примесей. Строительство усреднителей дает возможность улучшить условия работы действующих очистных сооружений, увеличить их производительность и эффект очистки.

Целесообразность применения усреднителей для улучшения работы действующих очистных сооружений в каждом конкретном случае должна быть всесторонне проанализирована. Такой путь интенсификации биологической очистки сточных вод может оказаться технически и экономически более приемлемым, чем, например, расширение самой станции очистки, особенно в тех случаях, когда нарушение биологической очистки происходит в результате залповых поступлений токсичных примесей и большой неравномерности поступления сточных вод.

Процесс разбавления высококонцентрированных сточных вод перед подачей их на биофильтры или в аэротенки может быть совмещен с усреднением сточных вод за счет подачи очищенных стоков в усреднитель. В случае размещения усреднителя перед очистными сооружениями подача в него очищенных сточных вод увеличивает нагрузку на решетки, пес-

коловки, первичные отстойники. Однако такой технический прием в ряде случаев может быть целесообразным.

Разбавление сточных вод и смена их свойств в положительную сторону достигается подачей в усреднитель избыточного активного ила или биопленки, растворов биогенных элементов, иловой воды, которая образуется при уплотнении и обезвоживании осадков и т.п.

Подача в усреднитель иловой воды после обезвоживания осадков может повысить рН сточных вод за счет ее высокой щелочности. Одновременно будет обеспечено более равномерное поступление на очистные сооружения загрязнений, которые находятся в иловой воде.

При размещении усреднителя после песколовок выпадающий в нем осадок практически не отличается от осадка первичных отстойников. В этом случае целесообразно совместить процессы усреднения и первичного отстаивания сточных вод в комбинированной конструкции усреднителя-отстойника.

Когда образование осадка в усреднителе нежелательно, конструкция его должна обеспечивать автоматическое удаление осадка потоком воды, вытекающей из усреднителя. При относительно небольших расходах сточных вод в качестве усреднителей могут использоваться сооружения, близкие по конструкции к вертикальным или радиальным отстойникам с отбором воды из зоны возможного накопления осадка (рис. 2.4).

Такие усреднители могут работать как с постоянным, так и с переменным уровнем жидкости. В последнем случае отводной трубопровод размещается на отметке, обеспечивающей нормальную работу усреднителя с заданным изменением уровней воды.

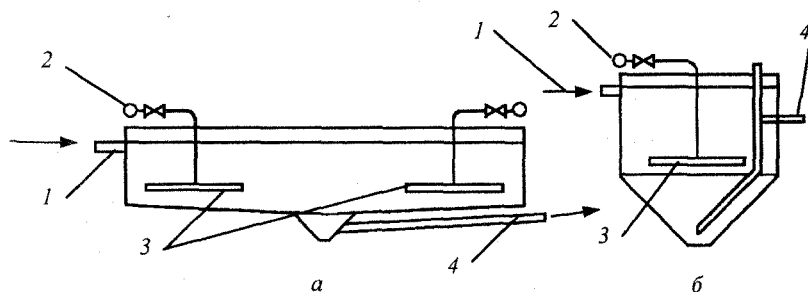


Рис. 2.4. Схемы усреднителей на базе радиального (а) и вертикального (б) отстойников: 1 — подающий трубопровод; 2 — воздушный ввод; 3 — аэратор; 4 — отводной трубопровод

В усреднителях всех типов необходимо предусматривать возможность удаления всплывших загрязнений через специальные лотки или иным способом.

## 2.2.4. Реконструкция сооружений механической очистки сточных вод

### Решетки

Эффект предварительного осветления стоков зависит от эффективности работы решеток, песколовков и первичных отстойников. Улучшение работы решеток возможно за счет применения вместо устаревших более совершенных типов решеток, строгого соблюдения технологического режима их эксплуатации (своевременная очистка от отбросов, регулирование нагрузок на отдельные решетки и др.). При установке новых решеток стремятся уменьшить прозоры с целью увеличения количества задержанных отбросов. Такое решение приводит к уменьшению количества осадков, образующихся в песколовках и первичных отстойниках, к уменьшению нагрузки на все сооружения по обработке осадков.

По данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», замена грабельных решеток на ступенчатые фирмы «Риотек» с прозорами 6 мм позволила в 1,3 раза увеличить массу задерживаемых отбросов и более чем в 2 раза снизить трудоемкость их ремонта и обслуживания, увеличить плотность снимаемых отбросов с 640 до 814 кг/м<sup>3</sup> за счет длительного пребывания их над водой на ступенях решетки. Технические характеристики ступенчатых решеток (РС) фирмы «Риотек» приведены в табл. 2.3, а их вид — на рис. 2.5. Решетки типа РС имеют практически ту же площадь живого сечения, что и грабельные, за счет меньшей толщины полос.

Таблица 2.3

| Параметр                                                              | Тип ступенчатой решетки |        |         |         |         |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|---------|---------|---------|
|                                                                       | РС-500                  | РС-630 | РС-1000 | РС-1560 | РС-1960 |
| Ширина решетки—ширина канала, мм                                      | 500                     | 630    | 1000    | 1560    | 1960    |
| Ширина фильтрующей части, мм                                          | 350                     | 440    | 840     | 1270    | 1670    |
| Общая высота, мм                                                      | 1320                    | 1580   | 2530    | 4420    | 5050    |
| Длина, мм                                                             | 850                     | 1160   | 1440    | 2420    | 2820    |
| Высота выгрузки осадка, мм                                            | 750                     | 890    | 1500    | 2960    | 3650    |
| Максимальная глубина канала, мм                                       | 800                     | 1000   | 1500    | 2070    | 3000    |
| Ширина прозоров, мм                                                   | 2                       | 2      | 2       | 4       | 6       |
| Толщина фильтрующих пластин, мм                                       | 2                       | 3      | 3       | 3       | 3       |
| Номинальная производительность по сточной жидкости, м <sup>3</sup> /ч | 210                     | 280    | 970     | 2500    | 5900    |
| Номинальная производительность по чистой воде, м <sup>3</sup> /ч      | 315                     | 420    | 1455    | 3750    | 8850    |
| Масса, кг                                                             | 380                     | 790    | 2380    | 6640    | 8020    |
| Максимальный уровень жидкости перед решеткой, мм                      | 500                     | 600    | 1200    | 1400    | 2200    |
| Мощность электродвигателя, кВт                                        | 0,37                    | 1,5    | 1,5     | 2,2     | 2,2     |

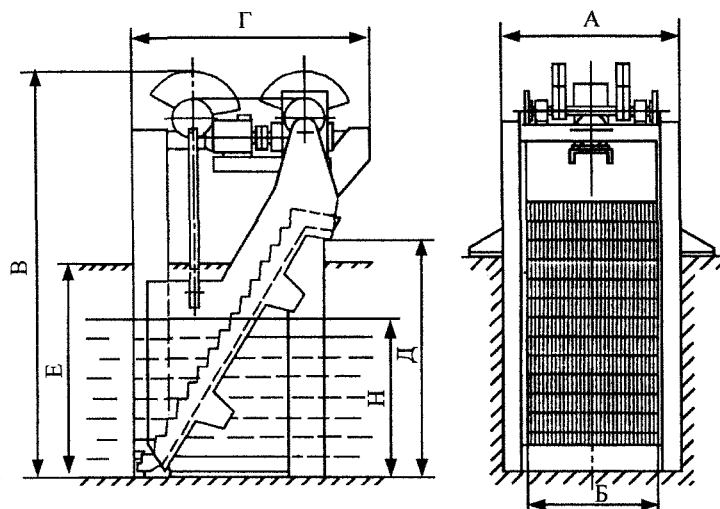


Рис. 2.5. Решетки типа РС

Для уплотнения и транспортировки отбросов вместе с решетками используются гидравлические пресс-транспортеры ПТГ. Их характеристики приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

| Параметры                                          | Тип гидравлического пресс-транспортера |               |               |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------|---------------|
|                                                    | ПТГ-250                                | ПТГ-300       | ПТГ-300*      |
| Габариты пресс-транспортера, мм                    | 2938×370×215                           | 2938×523×470  | 3900×1725×502 |
| Габариты масляной станции, мм                      | 1438×1060×560                          | 1438×1060×560 | —             |
| Мощность электродвигателя, кВт                     | 11                                     | 11            | 5,5           |
| Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /ч | 6                                      | 8,3           | 4,75          |
| Масса, кг                                          | 740                                    | 865           | 580           |

\*Примечание. Масляная станция устанавливается на корпусе пресс-транспортера.

Для установки в насосных станциях при их реконструкции можно использовать грабельные решетки речного типа (РГР), которые выпускаются на Украине (табл. 2.5).

Таблица 2.5

| Параметры                           | Марка      |            |            |            |             |             |             |             |             |  |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
|                                     | РГР<br>100 | РГР<br>200 | РГР<br>500 | РГР<br>800 | РГР<br>1200 | РГР<br>2000 | РГР<br>3000 | РГР<br>5000 | РГР<br>7000 |  |
| Производи-<br>тельность, м³/ч       | 100        | 200        | 500        | 800        | 1200        | 2000        | 3000        | 5000        | 7000        |  |
| Размеры<br>канала, (В×Н),<br>мм     | 300×600    | 450×600    | 600×900    | 600×900    | 1000×900    | 1000×1500   | 1500×1500   | 1500×2000   | 2000×2000   |  |
| Наполнение<br>канала, мм            | 300        | 300        | 450        | 600        | 600         | 1000        | 1000        | 1500        | 1500        |  |
| Величина<br>прозоров<br>решетки, мм | 10         | 10         | 12         | 16         | 16          | 20          | 20          | 40          | 60          |  |
| Толщина<br>стержней, мм             | 10         | 10         | 10         | 10         | 12          | 16          | 16          | 20          | 25          |  |
| Габаритные<br>размеры, мм           |            |            |            |            |             |             |             |             |             |  |
| Длина                               | 2500       | 2500       | 3880       | 3880       | 3880        | 5300        | 5300        | 6450        | 6450        |  |
| Ширина                              | 800        | 800        | 1050       | 1050       | 1350        | 1450        | 1950        | 1950        | 2450        |  |
| Высота                              | 1300       | 1300       | 1300       | 1300       | 1300        | 1300        | 1300        | 1300        | 1300        |  |
| Установлен-<br>ная мощность,<br>кВт | 0,37       | 0,37       | 0,55       | 0,55       | 0,55        | 0,75        | 0,75        | 0,75        | 0,75        |  |
| Масса, кг                           | 300        | 300        | 550        | 580        | 650         | 700         | 880         | 950         | 1150        |  |



Муниципальное производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства города Владимира проектирует и изготавливает модернизированные механические решетки (табл. 2.6) для извлечения из сточных вод грубых примесей (отбросов) (рис. 2.6).

Таблица 2.6

| Параметры                                                              | Типоразмеры решеток |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|
| Высота канала, $B$ , мм                                                | 1150                | 1200 | 1600 | 2000 |
| Ширина канала, $D$ , мм                                                | 800                 | 920  | 1030 | 1600 |
| Ширина решетки, мм                                                     | 720                 | 850  | 950  | 1485 |
| Максимальный уровень воды, $H$ , мм                                    | 650                 | 700  | 1100 | 1500 |
| Потери напора, $\Delta H$ , мм                                         | 300                 | 300  | 300  | 300  |
| Прозоры, мм                                                            | 5                   | 5    | 5    | 5    |
| Толщина устанавливаемых элементов, мм                                  | 6                   | 6    | 6    | 6    |
| Максимальная производительность по сточной воде, $\text{м}^3/\text{ч}$ | 772                 | 983  | 1702 | 3660 |
| Угол наклона решетки, град                                             | 63                  | 63   | 63   | 58   |
| Мощность электродвигателя, кВт                                         | 1,1                 | 1,1  | 1,1  | 1,1  |

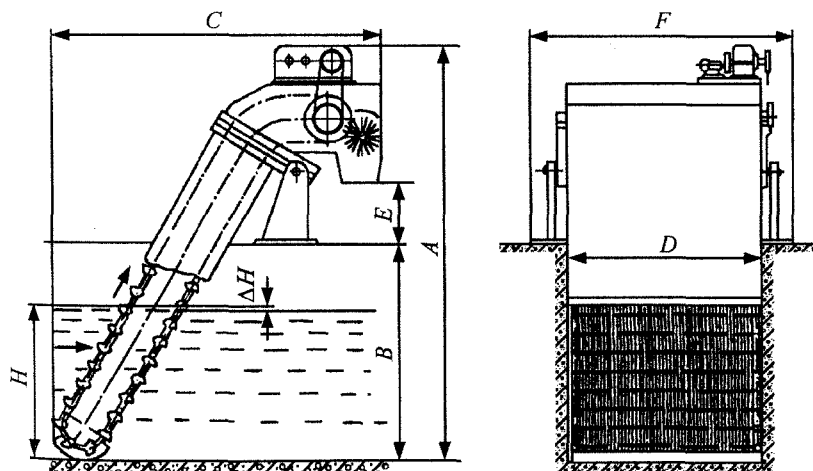


Рис. 2.6. Принципиальная схема механической решетки

Предлагаемые модернизированные решетки (РМ) имеют следующие преимущества перед обычно применяемыми: увеличение съема загрязнений в 3–5 раз за счет уменьшенных прозоров; полное исключение засоров в результате непрерывного удаления с решетки задержанных отбросов; компактность, позволяющая практически без дополнительных капитальных затрат установить модернизированные решетки на месте существующих.

### *Реконструкция песколовок*

Повышение эффекта задержания песка может быть достигнуто стабилизацией скорости потока в горизонтальных песколовках с помощью специальных водосливов, а также за счет улучшения работы скребковых механизмов для удаления осадков.

Особое внимание следует обратить на целесообразность применения аэрируемых песколовок. Одновременно с повышением эффекта задержания песка такие песколовки обеспечивают довольно интенсивную аэрацию сточных вод и могут быть использованы в качестве преаэраторов с биокоагуляцией загрязнений избыточным активным илом. Кроме широко известных конструкций в виде горизонтальных резервуаров прямоугольной формы весьма перспективным может быть применение аэрируемых песколовок с круговым движением воды (рис. 2.7), а также песколовок круглого поперечного сечения, для строительства которых используются безнапорные железобетонные трубы больших размеров (рис. 2.8).

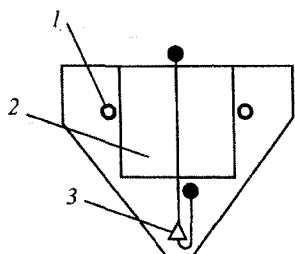


Рис. 2.7. Аэрируемая песколовка с круговым движением воды: 1 – аэратор; 2 – кольцевая перегородка; 3 – гидрозлеватор

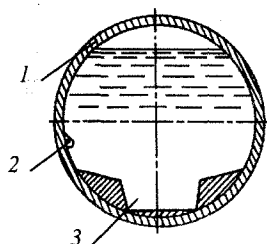


Рис. 2.8. Аэрируемая песколовка круглого поперечного сечения: 1 – железобетонная труба; 2 – аэратор; 3 – песковой лоток

В тех случаях, когда аэрируемой песколовке передаются функции преаэраторов, расчетная продолжительность пребывания в ней сточных вод может составлять 10–20 мин.

Для интенсификации работы аэрируемой песколовки предлагается разделить ее рабочую зону вертикальными перегородками на ряд последовательно соединенных камер. Перегородки могут быть сплошными, не достигающими до дна резервуара на 0,2–0,3 м его глубины и до продольной стенки аэратора шириной 0,25–0,3 м, или в виде плоских решеток, которые устанавливаются на всю глубину и ширину рабочей зоны. При этом первая перегородка по ходу движения воды расположена под острым углом к продольной стене с аэраторами, остальные – к противоположной.

Каждая камера имеет свой самостоятельный аэратор, а интенсивность аэрации потока уменьшается от начальной камеры к концевой. Подобная конструкция песколовки позволяет увеличить эффективность задержания песка на 15–30 %.

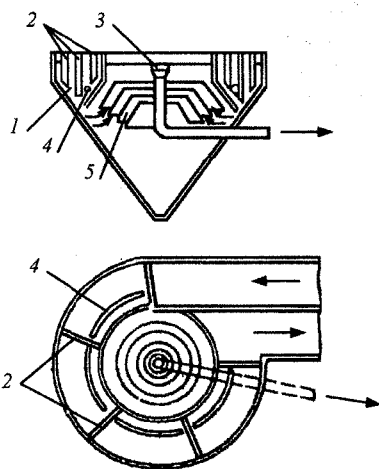


Рис. 2.9. Модернизированная песколовка с круговым движением воды: 1 – круговой лоток; 2 – плоская вертикальная решетка; 3 – переливная труба; 4 – аэратор; 5 – конические перегородки

Повысить эффективность задержания песка в горизонтальной песколовке с круговым движением воды и существенно увеличить ее производительность можно, выполнив следующую реконструкцию. В круговом лотке кроме аэраторов устанавливают и плоские вертикальные решетки, которые разделяют лоток на ряд секций. Каждая секция имеет свой аэратор, а отношение длины секции и длины кругового лотка составляет (0,2–0,5) : 1 (рис. 2.9).

Одновременно с этим для задержания песка предлагается использовать объем центральной части песколовки. Для этого в центре песколовки устанавливается вертикальная телескопическая отводная труба, погруженная под уровень жидкости на глубину, достаточную для вихревой водяной воронки. В центральной зоне песколовки дополнительно можно установить

конические перегородки, обеспечивающие максимально полезное использование зоны отстаивания.

Рекомендуемая конструкция песколовки обеспечивает надежное задержание песка крупностью 0,15 мм и больше. При этом значительно увеличивает зольность осадка благодаря отмывке его от органических загрязнений.

### *Реконструкция первичных отстойников*

Интенсификация работы первичных отстойников может быть осуществлена несколькими способами:

1) совершенствованием существующих функций отстойников в результате модификации водораспределительных и водосборных устройств, что позволяет улучшить гидродинамический режим работы отстойников. За счет снижения струйности потока в рабочей зоне производительность первичного отстойника увеличивается в 1,5 раза;

2) оборудованием существующих отстойников полочными или трубчатыми вставками для создания режима тонкослойного (ламинарного) отстаивания, такие вставки позволяют увеличить пропускную способность установок в 5-6 раз;

3) предварительной аэрацией сточных вод в сочетании с биокоагуляцией;

4) интенсификацией процесса отстаивания путем применения различных реагентов.

Исследования гидравлического режима работы отстойника позволили наметить основные пути снижения вихреобразования в придонной его части и сокращения длины участка осаждения, т.е. увеличения пропускной способности отстойника. Из технических приемов особо следует выделить *рассосредоточенный попутный отбор* осветленной сточной жидкости, который осуществляется системой развитого водосбора. При этом дополнительные водосливы устанавливают вдоль боковых стенок горизонтального отстойника (примерно на 60–70 % его длины).

Отвод некоторой части придонного потока – около 15 % общего расхода – из зоны наибольшей концентрации загрязнения позволяет повысить работу горизонтальных отстойников примерно на 30 %.

Для более эффективного удаления осадка в горизонтальных отстойниках старого типа рекомендуется увеличить не менее чем до 50° угол наклона стенок иловых приемков. В таких отстойниках, не имеющих скребковых механизмов, могут быть установлены скребки на вращающейся бесконечной цепи. Из горизонтальных отстойников можно удалять с помощью эрлифтного илососа, установленного на движущейся вдоль коридора поперечной ферме.

В радиальных отстойниках за счет периферийного впуска очищаемой сточной жидкости эффект очистки увеличивается на 20–30 %. Пропускная

способность радиальных отстойников обычной конструкции с центральным подводом воды при таком же времени отстаивания увеличивается на 30–60 %. Распределительное периферийное устройство радиального отстойника представляет собой кольцевой лоток с зубчатым водосливом или щелевыми донными отверстиями. Периферийный водораспределитель совместно с полупогруженной перегородкой образует с бортом отстойника кольцевую зону, где происходит эффективное гашение энергии входящих струй. Сточная жидкость поступает в рабочую зону отстойника через кольцевое пространство, образуемое нижней кромкой полупогруженной перегородки и днищем. Очищенная сточная жидкость из радиальных отстойников с периферийным впуском воды может отводиться двумя путями. В первом случае жидкость удаляется непосредственно через центральную трубу с вертикальными щелевыми отверстиями; во втором – отводится центральным кольцевым лотком, установленным на отводящих трубах, соединенных с центральной трубой.

Радиальные отстойники могут оснащаться вращающимися сборно-распределительными устройствами, в этом случае отстаивание происходит практически в статических условиях, вследствие чего строительный объем сооружений сокращается в 2 раза. Подача и отбор воды в этих отстойниках осуществляется вращающимся желобом, разделенным перегородкой на две части.

Для интенсификации работы отстойников можно использовать принципы тонкослойного отстаивания. За счет уменьшения размеров отстойников появляется возможность размещать их в помещениях и этим повысить эффект работы. В помещениях обеспечиваются более высокие и стабильные температуры. Горизонтальные и вертикальные отстойники оснастить тонкослойными модулями достаточно просто (рис. 2.10).

Некоторые затруднения возникают при оснащении ими радиальных отстойников. Из-за вращающейся фермы модули устанавливают по периферии перед водосборными лотками, вследствие чего пропускная способность сооружения увеличивается в 1,5–2 раза.

Тонкослойные модули могут иметь разнообразное поперечное сечение (плоскопараллельное, трубчатое, сотовое и т.д.) и изготавливаться из полимерных материалов, металла, асбестоцемента или стекла.

Значительно интенсифицировать процессы первичного отстаивания позволяют флотаторы. Средняя продолжительность флотационного осветления 20–30 мин, при этом в состав пенного концентрата, кроме грубодисперсных, входят коллоидные и даже растворенные примеси. Объем шлама после флотаторов в 2–3 раза меньше, чем после отстаивания, благодаря меньшей его влажности. Для повышения эффективности работы флотаторов могут использоваться коагулянты и флокулянты.

Наибольшее распространение получили напорные флотаторы, которые могут применяться в схемах локальной очистки производственных сточных вод и на городских очистных сооружениях. Этими флотаторами удаляются мельчайшие частицы загрязнений, поскольку имеется возможность получить самые мелкие пузырьки воздуха.

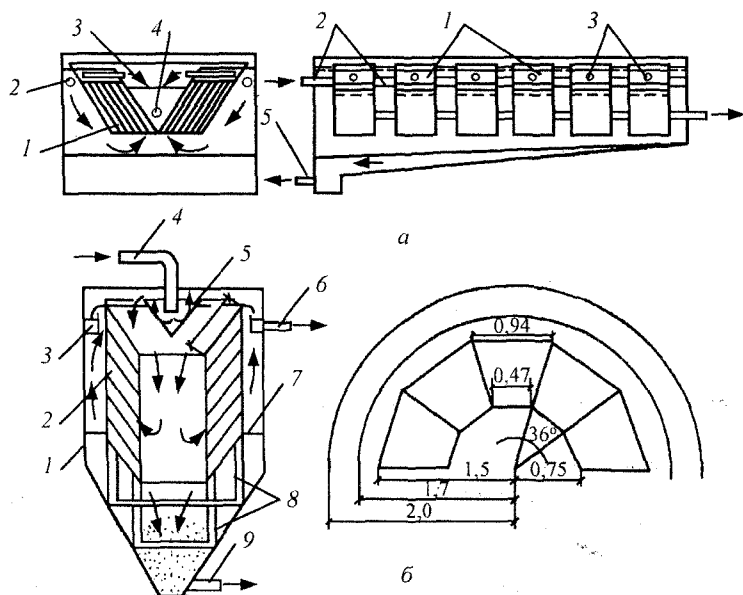


Рис. 2.10. Схема установки тонкослойных модулей в отстойниках: *а* – горизонтальном: 1 – пакеты наклонных пластин; 2 – перфорированный пусковой коллектор; 3 – трубы для отвода осветленной воды; 4 – отводящий коллектор; 5 – илопровод; *б* – вертикальном: 1 – емкость; 2 – пакеты наклонных пластин; 3 – сборный желоб; 4 – подающая труба; 5 – конус для гашения энергии струи; 6 – отводящая труба; 7 – перегородка; 8 – опора; 9 – илопровод

На напорных флотаторах можно очищать сточную жидкость с концентрацией загрязнений до 5 г/л и более, при этом объем флотаторов в 6–8 раз меньше отстойников при одинаковой пропускной способности.

Интенсификация флотационного осветления может быть достигнута введением в сточную жидкость избыточного активного ила, который обладает высокими сорбционными, коагуляционными свойствами и хорошо поддается флотации.

Суть способа состоит в том, что в сточную жидкость после обработки ее на решетках и песколовках вводят активный избыточный ил и полученную смесь осветляют флотацией. Процесс осветления осуществляют с использо-

ванием разных технологических схем напорной флотации: по прямоточной, с прямым насыщением воздухом части расхода сточных вод (схема с разделением потоков), с рециркуляцией рабочей жидкости (рис. 2.11).

Насыщение жидкости воздухом можно осуществлять с помощью эжектора, который устанавливается обычно на перемычке между напорной и всасывающей линиями насоса, а также с помощью компрессора, нагнетающего воздух в напорный бак той или другой конструкции.

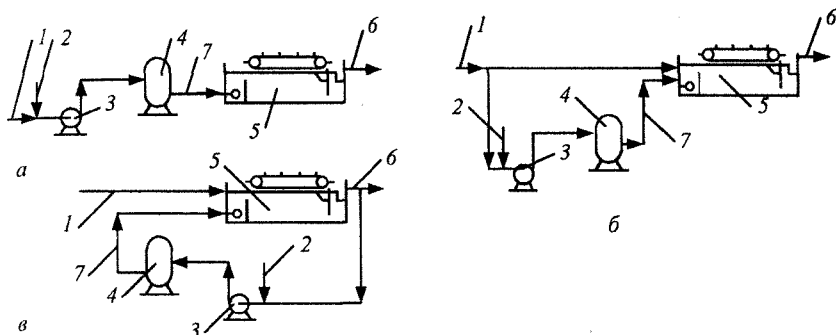


Рис. 2.11. Технологические схемы напорной флотации: а – прямоточная; б – с разделением потоков; в – с рециркуляцией рабочей жидкости; 1 – подача неочищенной воды; 2 – подача воздуха; 3 – насос; 4 – напорный бак; 5 – флотационная камера; 6 – отвод очищенной воды; 7 – подача воды, насыщенной воздухом

В горизонтальных отстойниках при переоборудовании их во флотационные биokoагуляторы часть рабочего объема в начале отстойника задействуется для осаждения крупных и тяжелых грубодисперсных примесей, остальной объем отводится под флотационную камеру (рис. 2.12). С наибольшей эффективностью рабочий объем горизонтального отстойника в случае переоборудования его во флотатор может быть использован при рассредоточении подачи и отведения сточной жидкости по длине флотационной камеры, хотя это немного и усложняет ее конструкцию.

Переоборудование радиальных первичных отстойников во флотационные биokoагуляторы при сохранении скребков осадка связано с трудностями устройства системы для распределения рабочей жидкости. Возможна схема, когда рабочая жидкость, насыщенная воздухом, вводится в самотечный трубопровод, подающий сточные воды в отстойники (рис. 2.13). Под флотационную камеру может быть отведена периферийная часть радиального отстойника, который при этом становится комбинированным сооружением – отстойником-флотатором. Флотационные биokoагуляторы всех типов оборудуются шламособорниками, в состав которых входят скребковые механизмы, шламособорные лотки и отводные трубопроводы.

В горизонтальных флотационных камерах используются скребковые транспортеры, обеспечивающие как периодическое, так и постоянное удаление шлама. Для флотационных камер круглой формы рекомендуется использовать скребок, выполненный в виде спирали Архимеда. Он перемещает флотационный шлам к периферийному сборному лотку.

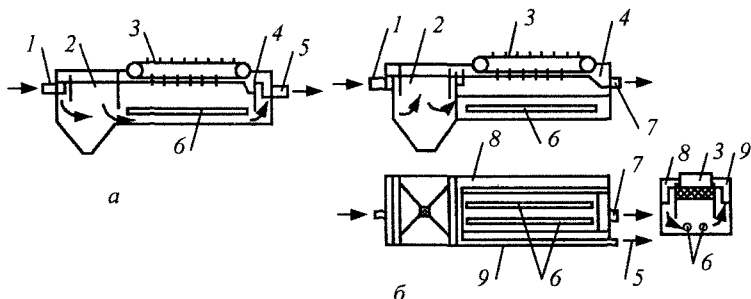


Рис. 2.12. Рекомендуемые схемы переоборудования горизонтальных отстойников во флотационные биокоагуляторы с рассредоточенной подачей воды по ширине (а) и по длине (б) флотационной камеры: 1 – трубопровод неочищенных сточных вод; 2 – камера для предварительного отстаивания сточных вод; 3 – скребок; 4 – лоток для сбора флотационного шлама; 5 – трубопровод очищенных сточных вод; 6 – распределительный трубопровод рабочей жидкости; 7 – трубопровод для отведения шлама; 8 – распределительный лоток; 9 – сборный лоток

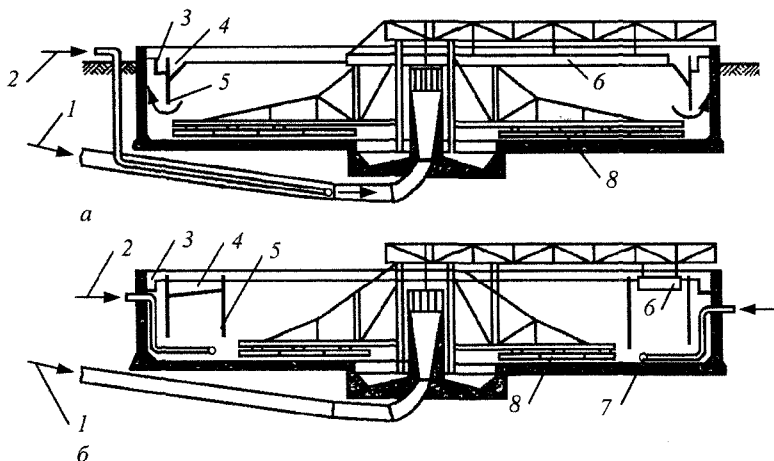


Рис. 2.13. Схема переоборудования радиальных отстойников во флотационные биокоагуляторы: 1 – подача сточных вод; 2 – подача рабочей жидкости; 3 – кольцевой лоток для сбора очищенных сточных вод; 4 – шламособорный лоток; 5 – кольцевая перегородка; 6 – скребок для удаления флотационного шлама; 7 – распределительный трубопровод рабочей жидкости; 8 – скребки для удаления осадка



Реагентная интенсификация применяется при гравитационном и флотационном осветлении городских и производственных сточных вод. В качестве коагулянтов могут быть использованы соли алюминия (сульфат алюминия, алюминат натрия, оксихлорид алюминия) или соли железа (хлорид железа, железный купорос, сульфат железа).

Доза коагулянта зависит от содержания в сточной жидкости твердых примесей. При концентрации их до 100 мг/л доза безводного коагулянта составляет 25–35 мг/л, при увеличении концентрации до 2200–2500 мг/л доза коагулянта увеличивается до 90–130 мг/л.

В последние годы наметилась тенденция изготовления коагулянтов из промышленных отходов, что наряду с интенсификацией и удешевлением осветления сточных вод позволяет утилизировать промышленные отходы. Применение реагентов с целью интенсификации работы сооружений механической очистки сточных вод особенно эффективно на перегруженных по количеству сточных вод и загрязнений очистных сооружениях, а также для очистки смеси городских сточных вод с большим количеством производственных.

Одновременно надо учитывать, что реагентная обработка сточных вод связана с использованием дефицитных реагентов, со строительством реагентного хозяйства. Это приводит к существенному увеличению количества образующихся осадков как по сухому веществу, так и по объему. Поэтому решение о применении реагентов для интенсификации очистки сточных вод на действующих сооружениях должно основываться на всестороннем анализе ситуации.

При необходимости реконструирования первичных отстойников необходимо, прежде всего, оценить способность к осаждению взвешенных веществ. С этой целью целесообразно построить график, кривые которого охарактеризуют кинетику осаждения взвешенных веществ при осветлении сточных вод в статических условиях. Подобный график дает возможность расчетным путем оценить ожидаемый эффект осветления сточных вод в реальных условиях, в том числе с тонкослойными элементами.

### **2.2.5. Реконструкция сооружений биологической очистки сточных вод**

#### *Интенсификация работы аэротенков*

Увеличение дозы активного ила в зоне аэрации является одним из наиболее важных направлений интенсификации биохимической очистки сточных вод в аэротенках. Считается, что при повышении дозы активного ила с 1-2 до 25-30 г/л пропорционально возрастает окислительная мощность аэротенка

от 0,5-1 до 12-14 кг БПК<sub>п</sub>/(м<sup>3</sup>·сут). Однако для системы аэротенк-вторичный отстойник существует предельная концентрация активного ила, превышение которой ведет к дестабилизации работы системы и ухудшению качества очистки. При наличии сооружений доочистки в данном случае увеличивается нагрузка на них и может превысить предельную величину. Наиболее «узким местом» в этой системе является вторичный отстойник, для которого доза ила составляет 1,5–2 г/л.

Увеличить дозу активного ила в аэротенке можно разными путями. Наиболее простой – введение отдельной регенерации активного ила. Это достигается возвратом на стадии регенерации уплотненного во вторичных отстойниках активного ила. Его доза в регенераторе может быть 7–8 г/л, а в рабочей зоне 1,5–2,5 г/л. Дальнейшее увеличение вынуждает применять двухступенчатое илоотделение, модифицировать вторичные отстойники тонкослойными модулями или применять более сложные сооружения: флотаторы, осветлители со слоем взвешенного осадка, фильтры.

Другим путем увеличения дозы активного ила является создание аэротенков с фильтрационным разделением иловой смеси. В рабочей зоне такого сооружения поддерживается доза активного ила до 25 г/л. Однако перед подачей очищенной сточной жидкости во вторичный отстойник она пропускается через специальные фильтровальные перегородки сетчатого или пористого типа. При этом во вторичный отстойник поступает не более 3-4 г/л взвешенных веществ. Фильтротенки могут успешно применяться для очистки высококонцентрированных сточных вод, образующих труднооседаемые илы (рис. 2.14).

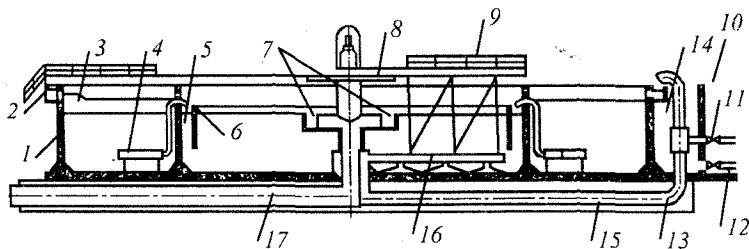


Рис. 2.14. Фильтротенк радиального типа: 1 – распределительный лоток; 2 – лоток возвратного ила; 3 – зона аэрации; 4 – фильтрующая насадка; 5 – камера дегазации; 6 – струенаправляющая насадка; 7 – сборные лотки; 8 – ферма илососа; 9 – мостик; 10 – камера управления; 11 – воздуховод; 12 – трубопровод избыточного ила; 13 – эрлифт; 14 – иловая камера; 15 – трубопровод возвратного активного ила; 16 – илососы; 17 – трубопровод очищенных сточных вод

При использовании в качестве фильтрующих элементов новых материалов, например пористой нержавеющей стали, появилась возможность отказаться от вторичных отстойников, т.к. вынос активного ила не пре-

вышает 20 мг/л. Техничко-экономическими расчетами установлено, что в фильтротенке возможно достижение высокой окислительной мощности (8000–1200 г БПК<sub>д</sub>/м<sup>3</sup>) при низкой нагрузке на активный ил (400–600 мг/г). При этом достигается 12–15%-е снижение себестоимости очистки и 35–40%-я экономия капитальных вложений.

Другим сооружением биологической очистки сточных вод с высокими дозами активного ила является флототенк. Флотационные илоотделители, совмещенные с аэротенками, разработаны как в нашей стране, так и за рубежом. Принципиальная схема работы флототенка состоит в том, что сточные воды после механической очистки подаются в безнапорную зону аэрации, которая оборудована соответствующими аэрационными устройствами. Иловая смесь в зоне аэрации насыщается воздухом с помощью насосов и эжекторов. Воздухом может насыщаться также часть расхода рециркулирующей осветленной сточной жидкости, которая затем подается в безнапорную зону флотационного илоотделителя. Сфлотированный ил концентрацией 30–50 г/л из пенного флотатора удаляется скребками различной конструкции или самотечным переливом на рециркуляцию в зону аэрации и частично в качестве избыточного активного ила отводится на сооружения обработки осадка.

Как показал опыт эксплуатации флототенков, количество избыточного активного ила невелико, и в ряде случаев можно обойтись без его выведения из системы. Это объясняется тем, что снижение удельной окислительной мощности активного ила при увеличении его дозы автоматически переводит активный ил в фазу продленной аэрации, которая характеризуется весьма малым или даже нулевым приростом биомассы.

Флототенки, как и фильтротенки, целесообразно применять для неполной биологической очистки высококонцентрированных производственных сточных вод в двухступенчатых схемах в качестве первой ступени или на локальных сооружениях промышленных предприятий.

По данным ВНИИ «Водгео», применение флототенков экономически целесообразно:

- для сточных вод с БПК более 400–500 мг/л;
- трудно окисляемых сточных вод, время аэрации которых составляет более 16–20 ч;
- производственных сточных вод, при очистке которых образуется «вспухающий» активный ил.

Одним из способов увеличения массы активного ила в аэротенках может быть заполнение всего или части их объема инертными материалами с развитой поверхностью, обрастающей биологической пленкой (биотенки). Такое закрепление микроорганизмов позволяет увеличить количество ила в аэротенках без существенного увеличения концентрации иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники. В аэротенках размещаются блоки

плоских или волнистых асбестоцементных листов, пластмассовые решетки, щиты в виде металлического или деревянного каркаса с закрепленными на них листами поролона, стекловолокна, синтетическими тканями и другими материалами. Возможно заполнение объема аэротенка полиуретаном, полистиролом, пластмассовыми элементами, кольцами и др. В аэротенках с закрепленной биомассой необходимо обеспечивать соответствующие условия для аэрации и циркуляции иловой смеси во всем объеме сооружения с тем, чтобы избежать возможного появления застойных зон. Ниже представлен биотенк, выполненный на базе аэротенка коридорного типа (рис. 2.15).

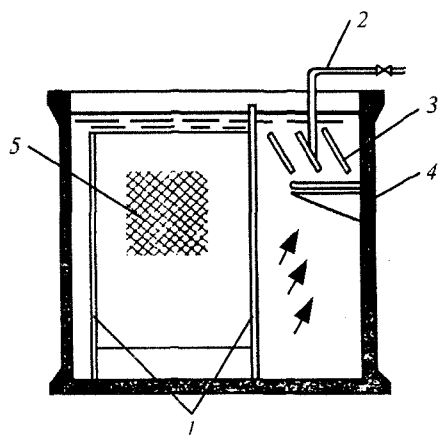


Рис. 2.15. Коридорный биотенк с низконапорной аэрацией: 1 – направляющие; 2 – воздуховод; 3 – загрузка над аэратором; 4 – аэратор; 5 – основная загрузка

Кассеты, в которых натянута перфорированная пластмассовая пленка, установлены перпендикулярно продольным стенкам аэротенка по направляющим. Часть кассет установлена над аэраторами под углом  $60^\circ$ . По данным испытаний окислительная мощность такого биотенка в 1,5 раза выше, чем аэротенка обычной конструкции при одинаковой степени очистки.

Аэротенки с регулярной плоскопараллельной или трубчатой насадкой, а также с перфорированной засыпной загрузкой рекомендуется применять для очистки концентрированных сточных вод при резком колебании их состава или при большой вероятности залповых сбросов. Особенно целесообразно их применение для очистки сточных вод, характеризующихся образованием «вспухающего» активного ила.

Применение мелкофракционных загрузочных материалов (полимеры, кварцевый песок, керамзит, цеолит, силикат, гранулированные синтетические или минеральные материалы) наиболее целесообразно в виде взве-

шенного слоя в вертикальных сооружениях, например в башенных аэротенках высотой 10–30 м.

Совершенствование гидродинамического режима аэротенков позволяет интенсифицировать их работу. Аэротенки-вытеснители обеспечивают высокое качество и стабильность нагрузки, однако доза ила в них невелика, и нагрузка на него распределяется неравномерно. Аэротенки-смесители отличаются равномерностью нагрузки на активный ил по органическим загрязнениям, что обеспечивает высокую скорость изъятия загрязнений. Однако в них возможен проскок неочищенной сточной воды.

В конструкции аэротенка с неравномерно рассредоточенной подачей сточной жидкости (АНР) сочетаются преимущества аэротенка-смесителя и аэротенка-вытеснителя. Подача сточной жидкости в аэротенки такого типа осуществляется по длине сооружения через затворы-водосливы, обеспечивающие регулирование расхода пропорционально концентрации активного ила в зоне аэрации. Общая масса активного ила в АНР выше, чем в аэротенках-вытеснителях, вследствие чего окислительная мощность сооружения повышается на 25–30 %.

С целью повышения эффективности работы действующих коридорных аэротенков целесообразно переоборудовать их в многокамерные аэротенки. В таком устройстве, разделенном перегородками с отверстиями на ряд камер, осуществляется полное перемешивание жидкости в пределах каждой из них, но отсутствует перемешивание между ними. Последовательное перетекание иловой смеси из одной камеры в другую создает гидродинамический режим, в большей степени отвечающий режиму идеального вытеснения, причем мера этого соответствия возрастает с увеличением числа камер.

Как пример на рис. 2.16 приведены зависимости расчетных остаточных концентраций органических загрязнений по БПК от продолжительности очистки сточных вод в аэротенках разных типов.

Разделение аэротенка на камеры можно осуществлять с помощью перегородок из разнообразных материалов (железобетона, дерева, пластмасс и др.). Отверстия для перетекания жидкости из камеры в камеру надо размещать у дна аэротенка, скорость потока в отверстиях должна быть при максимальном притоке около 0,2 м/с.

Каждая секция аэротенка состоит из 4–10 камер. Их размеры могут быть одинаковыми, хотя, если учесть характер снижения БПК по направлению движения воды от камеры к камере, можно устанавливать оптимальные размеры каждой из них, что будет отвечать максимально возможному снижению БПК сточных вод при заданном объеме аэротенка.

В последние годы получили развитие глубокие аэротенки с вертикальным движением воды, названные шахтными. Такие аэротенки выполняются диаметром от 250 мм до нескольких метров и глубиной до 360 м. Общий

рабочий объем шахтного азротенка разделен на две секции: восходящего и нисходящего потоков. Обычно это реакторы типа «труба в трубе» или перегородчатые. В секциях шахтного азротенка подаваемый компрессором воздух создает эрлифтную циркуляцию сточных вод. Возможно создание циркуляции иловой смеси насосом.

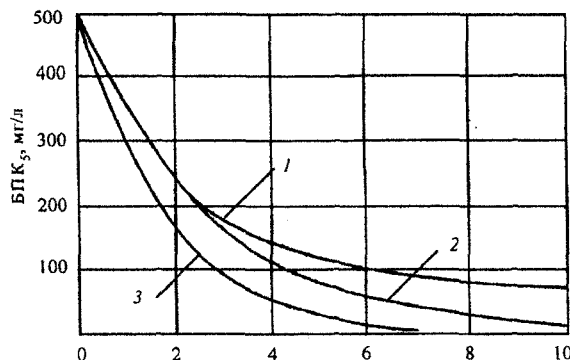


Рис. 2.16. Зависимости остаточных концентраций органических загрязнений (по БПК<sub>3</sub>) от продолжительности аэрации сточных вод в «идеальных» азротенках: 1 – смесители; 2 – многокамерные (камеры одного размера); 3 – вытеснители

Для устройства шахтных азротенков используют горные выработки, трубчатые колодцы, кроме того, их можно сооружать способом опускного колодца.

Глубокие азротенки обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными: их объем в 2–2,5 раза меньше, капитальные затраты на строительство сокращаются на 20 %. Они занимают значительно меньше площади. Благодаря высокому гидростатическому давлению растворимость кислорода в шахтных азротенках в 2 раза выше, что позволяет снизить мощность компрессоров и уменьшить количество подаваемого воздуха. Так, на 1 кВт·ч затраченной электроэнергии при глубине азротенка 100–300 м за час обеспечивается ввод в сточную жидкость 3 кг кислорода на 1 м<sup>3</sup> азротенка. Количество избыточного активного ила в шахтных азротенках снижается на 50 %, вследствие чего облегчается его переработка. Высокая турбулентность при аэрации в азротенках большой глубины исключает возможность протекания анаэробных процессов и выделения запахов. Степень использования кислорода в шахтных азротенках составляет до 90 %. Азротенки шахтного типа разрабатываются и эксплуатируются в Великобритании, Канаде, Германии, Италии, Японии, Украине и других странах.

Разделение иловой смеси после шахтных азротенков может успешно осуществляться во флотационных илоотделителях. Флотация происходит

самопроизвольно за счет наимельчайших пузырьков воздуха, выделяющихся из раствора при уменьшении давления в выходящем потоке.

На реконструируемых очистных сооружениях шахтные аэротенки целесообразно использовать как первую ступень биологической очистки перед аэротенками-вытеснителями или биофильтрами.

Необходимый объем шахтного аэротенка можно определить по формулам, которые рекомендует СНиП 2.04.03-85\* для аэротенков-смесителей, с использованием констант, соответствующих виду очищаемых сточных вод. Общий объем аэротенка включает объем шахты и оголовка. Диаметр и глубина шахты назначаются из условия обеспечения биохимического процесса необходимой дозой кислорода. Степень использования кислорода принимается в зависимости от глубины аэротенка и составляет около 50–70 %.

Рециркуляционный расход иловой смеси в шахтном аэротенке с насосной циркуляцией определяется по формуле

$$Q_p = \frac{QZ(L_{en} + L_{ex})}{m p}, \quad (2.5)$$

где  $Q$  – расчетный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $Z$  – удельный расход кислорода, г/г БПК<sub>н</sub>;  $L_{en}$  и  $L_{ex}$  – БПК<sub>н</sub> неочищенных и очищенных сточных вод;  $m$  – количество кислорода в атмосферном воздухе, г/м<sup>3</sup>;  $p$  – степень использования кислорода воздуха, часть единицы;  $u$  – отношение расхода воздуха к рециркуляционной иловой смеси (0,26–0,27).

Расчетные скорости движения иловой смеси в центральной трубе и межтрубном пространстве принимают в пределах 1–2 м/с.

Совершенствование системы аэрации сточных вод позволяет в значительной мере интенсифицировать процесс биологической очистки, снизить эксплуатационные расходы и затраты электроэнергии. Именно системой аэрации в конечном итоге определяется максимальная концентрация активного ила в аэротенках и тем самым его максимальная окислительная способность, если считать, что эта максимальная концентрация не лимитируется работой илоотделителей (вторичных отстойников, флотаторов и др.).

Потребность в кислороде складывается из расходов кислорода на окисление органических веществ и на эндогенное дыхание микроорганизмов. Она определяется обычно по экспериментально найденной величине удельного расхода кислорода на 1 кг снятой БПК<sub>з</sub> или БПК<sub>н</sub>.

Удельный расход кислорода зависит в основном от степени очистки сточных вод и может изменяться в довольно широком интервале 0,9–2,2 кг/кг. При очистке городских сточных вод удельный расход кислорода рекомендуется применять при полной биологической очистке 1,1 кг/кг, при неполной 0,9 кг/кг БПК<sub>н</sub>.

При увеличении концентрации активного ила в аэротенке возрастает количество кислорода, расходуемого на эндогенное дыхание микроорганизмов. Эта зависимость выражается формулой Эмде

$$M_o = 0,5L_{en} + 0,1X_1, \quad (2.6)$$

где  $M_o$  – потребность в кислороде на биологическую очистку  $1 \text{ м}^3$  сточных вод,  $\text{кг O}_2/\text{м}^3$ ;  $X_1$  – количество активного ила участвующего в процессе очистки, в расчете на  $1 \text{ м}^3$  очищаемых сточных вод,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Предельная концентрация активного ила в аэротенке (по беззольному веществу) рассчитывается следующим образом,  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$A = \frac{OC}{(Z\rho(1-S))}, \quad (2.7)$$

где  $OC$  – окислительная способность системы аэрации  $\text{кг O}_2/\text{м}^3 \cdot \text{г}$ ;  $Z$  – удельный расход кислорода,  $\text{кг}/\text{БПК}_n$ ;  $\rho$  – скорость окисления загрязнений,  $\text{кг БПК}_n$  на  $1 \text{ кг}$  беззольного вещества активного ила в час;  $S$  – зольность активного ила, доля единицы.

Приведенная зависимость показывает, что повышение концентрации активного ила в аэротенке без соответствующего увеличения окислительной способности системы аэрации приведет к недостатку кислорода и, в конечном итоге, к снижению окислительной способности аэротенка. Производительность аэротенка можно увеличить за счет применения системы аэрации с большей окислительной способностью, чем существующая при соответствующем увеличении концентрации активного ила. Максимальные концентрации активного ила в аэротенках, вычисленные по известным данным об окислительной способности разных систем аэрации и типов аэраторов, приведены в табл. 2.7.

Как следует из табл. 2.7, возможности увеличения концентрации активного ила при традиционно применяемой пневматической аэрации и многих типах механических аэраторов весьма ограничены. При использовании пневматической аэрации некоторое увеличение объемного коэффициента массопередачи возможно за счет повышения интенсивности аэрации. Однако основной способ повышения окислительной способности пневматической системы аэрации – это увеличение площади, занимаемой аэраторами в плане аэротенка. Поэтому одновременно с увеличением расхода воздуха, подаваемого в аэротенки, следует увеличить количество рядов аэраторов, разместив их вдоль обеих стен коридора или в несколько рядов по всей площади. Окислительную способность механических аэраторов можно повысить, уменьшив объем аэротенка, приходящийся на каждый из них. Однако сокращение зоны обслуживания отдельным аэратором возможно лишь до определенного предела, зависящего от конструкции аэратора и принципа его работы.



Таблица 2.7

| Система аэрации<br>и тип аэратора        | Эффективность<br>аэрации,<br>кг O <sub>2</sub> /(кВт·ч) | Окислительная<br>способность<br>системы аэрации,<br>кг O <sub>2</sub> /м <sup>3</sup> ·ч | Максимальная<br>концентрация<br>активного ила<br>в аэротенках, кг/м <sup>3</sup> |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Пневматическая аэрация:                  |                                                         |                                                                                          |                                                                                  |
| мелкопузырчатая                          | 2,2                                                     | 0,05–0,07                                                                                | 2,9                                                                              |
| среднепузырчатая                         | 1,4–1,8                                                 | 0,03–0,05                                                                                | 2,1                                                                              |
| крупнопузырчатая                         | 1,2                                                     | 0,04–0,05                                                                                | 2,1                                                                              |
| Механическая аэрация:                    |                                                         |                                                                                          |                                                                                  |
| дисковый аэратор                         | 2,7–3,0                                                 | 0,1                                                                                      | 6,2                                                                              |
| турбинный аэратор:                       |                                                         |                                                                                          |                                                                                  |
| ТА-1                                     | 2,19                                                    | 0,15                                                                                     | 3,3                                                                              |
| ТА-2                                     | 2,83                                                    | 0,08                                                                                     | 3,1                                                                              |
| Пропеллерный аэратор:                    |                                                         | 0,075                                                                                    |                                                                                  |
| АН – 1м                                  | 1,8–2,14                                                | 0,09–0,16                                                                                | 6,6                                                                              |
| С – 16                                   | 2,1–2,5                                                 | 0,09–0,33                                                                                | 13,7                                                                             |
| Пневмомеханическая<br>аэрация:           |                                                         |                                                                                          |                                                                                  |
| аэратор типа АПМ                         | 1,7–2,5                                                 | 0,03–0,2                                                                                 | 8,2                                                                              |
| пропеллерный аэратор<br>конструкции ЛИСИ | 1,7–2,3                                                 | 0,02–0,6                                                                                 | более 20                                                                         |
| струйный аэратор (ГДР)                   | 2,5–5,0                                                 | 0,2–5                                                                                    | более 20                                                                         |

В аэротенках-смесителях с повышенными дозами активного ила успешно могут использоваться струйные аэраторы, работающие на принципе подачи атмосферного воздуха в аэротенк струей воды, которая движется с высокой скоростью (8–12 м/с). Наиболее известны струйные аэраторы шахтного типа (рис. 2.17).

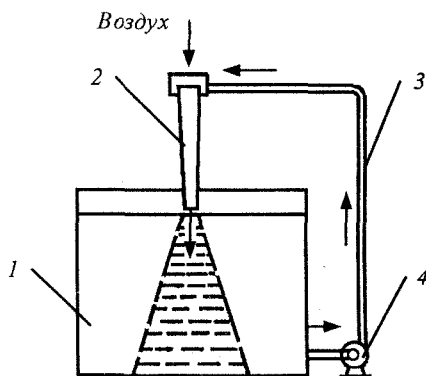


Рис. 2.17. Схема установки струйного аэратора типа шахтного водослива: 1 – аэротенк; 2 – струйный аэратор; 3 – напорный трубопровод; 4 – насос

Методика расчета таких аэраторов подробно изложена в литературе, а среди преимуществ можно выделить следующие:

- высокую окислительную способность, которая достигает  $3 \text{ кг O}_2/\text{м}^3 \cdot \text{ч}$  при эффективности аэрации  $2,5\text{--}5 \text{ кг O}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$ ;
- интенсивность перемешивания иловой смеси;
- простоту конструкции;
- возможность использования низконапорных насосов;
- высокую надежность и простоту эксплуатации.

Площадь кольцевого сечения и параметры процесса аэрации можно изменять, если в конструкции аэратора предусмотреть возможность вертикального перемещения воздушной трубы (рис. 2.18).

На нижней части воздушной трубы целесообразно разместить радиально направленные стержни (6–12 шт.), разделяющие водный поток на отдельные струи, что увеличивает эффект засасывания воздуха из атмосферы и улучшает его диспергирование в пределах аэратора.

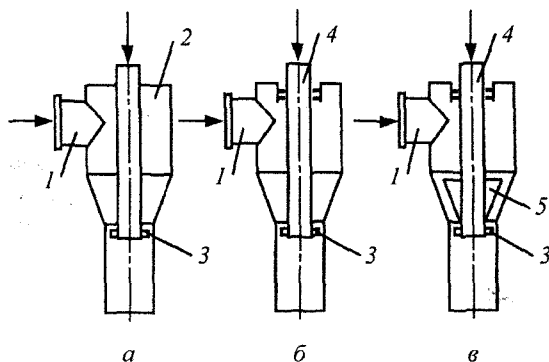


Рис. 2.18. Напорные струйные аэраторы с нерегулируемым (а) и регулируемым (б, в) кольцевыми сечениями: 1 – трубопровод подачи жидкости; 2 – жестко закрепленная воздушная труба; 3 – радиальные стержни; 4 – подвижная воздушная труба; 5 – регулировочный конус

Совершенствование мелкопузырчатой аэрации идет по пути создания устойчивых к засорению, а также легко извлекаемых и заменяемых или регенерируемых фильтров. Примером может быть аэратор пневматический «Полипор», обладающий высокой прочностью и долговечностью, химической стойкостью, устойчивостью к гидро- и аэродинамическим ударам, простотой монтажа и демонтажа.

Аэратор состоит из полиэтиленовых труб с внутренним диаметром 100 мм, покрытых диспергирующим слоем (рис. 2.19). Длина элемента 1000–1500–2000 мм, потери напора 300–400 мм вод. ст.

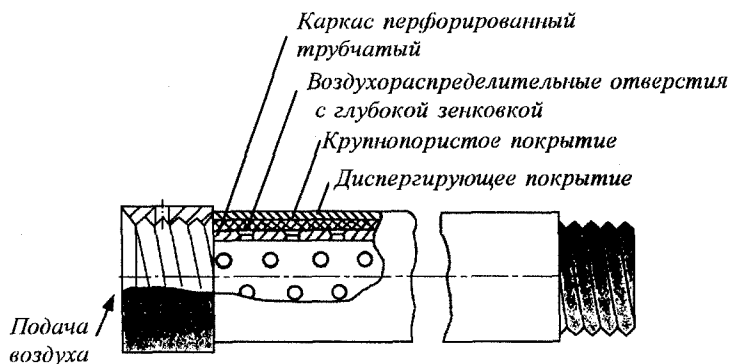


Рис. 2.19. Аэратор «Полипор»

Новейшие испытания различных систем аэрации, выполненные рядом организаций под руководством НИИ КВОВ, показали, что наиболее высокие эксплуатационные показатели имеют пластмассовые аэраторы: трубчатые и дисковые. Производительность  $1 \text{ м}^2$  трубчатого аэратора составляет  $41\text{--}167 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха, дискового аэратора  $79\text{--}237 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха. Более высокая производительность  $1 \text{ м}^2$  дискового аэратора связана с тем, что только  $25\text{--}30 \%$  площади трубчатого аэратора участвует в процессе аэрации. Затраты электроэнергии на  $1 \text{ кг}$  снятой БПК<sub>5</sub> составили для дисковых аэраторов  $0,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ , для трубчатых  $0,95 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ . Ниже (рис. 2.20) показан дисковый аэратор НИИ КВОВ. Его параметры: диаметр  $210 \text{ мм}$ ; размер пузырьков воздуха  $2\text{--}2,5 \text{ мм}$ ; расчетное количество воздуха через один аэратор  $5\text{--}6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; потери напора  $100\text{--}200 \text{ мм вод. ст.}$ , коэффициент использования воздуха  $15\text{--}25 \%$ ; срок эксплуатации не менее  $20$  лет.

Наряду с преимуществами указанного аэратора, по сравнению с фильтровыми пластинами и трубами, можно отметить возможность повышения эффективности работы аэрационной системы при увеличении ширины аэрируемой зоны ( $f_{az}/f_{at}$ ). Так, для мелкопузырчатой системы аэрации с параметром  $f_{az}/f_{at}=1$ , по сравнению с аэрационной системой при  $f_{az}/f_{at}=0,1$ , увеличение капитальных вложений на  $65 \%$  компенсируется сокращением эксплуатационных затрат за счет снижения интенсивности аэрации и расхода электроэнергии в  $3$  раза, в результате чего приведенные расходы снижаются до  $7 \%$ .

Возможность интенсифицировать биологическую очистку сточных вод в аэротенках путем разделения процесса очистки на отдельные ступени базируется на разных предположениях. Ступенчатая очистка целесообразнее всего тогда, когда высококонцентрированные сточные воды содержат загрязнения, отличающиеся скоростями их биологического окисления.

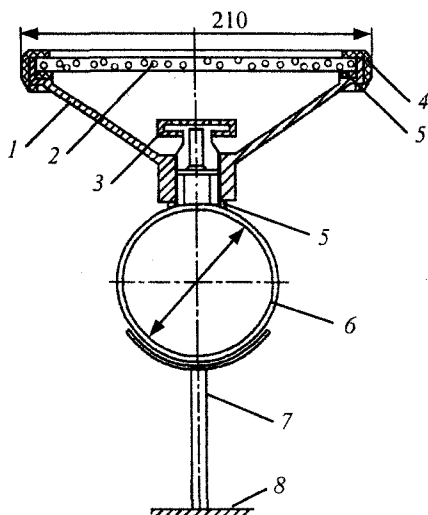


Рис. 2.20. Пластмассовый мелкопузырчатый аэратор НИИ КВОВ с двухслойной пористой пластиной: 1 – корпус аэратора; 2 – двухслойная пластина; 3 – обратный клапан; 4 – зажимное кольцо; 5 – резиновое уплотнение; 6 – воздухопровод; 7 – стойка; 8 – дно аэротенка

Наиболее перспективным может быть путь, если на первой ступени биологической очистки используются высоконагружаемые аэротенки-смесители с высокими дозами активного ила, а на второй ступени – аэротенки-вытеснители, работающие при дозах активного ила, обеспечивающих нормальную работу вторичных отстойников. В качестве аэротенков-смесителей на первой ступени могут использоваться аэротенки-отстойники разных типов, аэротенки-осветлители, фильтротенки, биотенки, аэротенки с флотационными илоразделителями.

В зависимости от типа используемых аэротенков-смесителей на первой ступени действуют разные технологические схемы двухступенчатой биологической очистки сточных вод.

Практическое осуществление рекомендованных технологических схем двухступенчатой очистки сточных вод на действующих очистных сооружениях возможно несколькими путями. Дополнительно к существующим аэротенкам можно построить аэротенки-смесители первой ступени. Под них выделяют часть объема существующих аэротенков. В случае использования для первичного отстаивания сточных вод флотационных коагуляторов или тонкослойных отстойников под аэротенки-смесители первой ступени выделяют освободившиеся первичные отстойники.

В отдельных случаях при двухступенчатой очистке можно вообще отказаться от первичного отстаивания и перейти на биологическую очистку неосветленных сточных вод, ограничившись лишь удалением из них наиболее тяжелых грубодисперсных примесей за счет кратковременного отстаивания (10–15 мин).

### Реконструкция и интенсификация работы биофильтров

Рециркуляция, т.е. повторная подача на биофильтры части очищенных сточных вод вместе с неочищенными стоками, увеличивает производительность биофильтров и повышает эффективность биологической очистки. Возвращаемая на биофильтры очищенная вода несет с собой кислород, нитриты и нитраты, аэробные микроорганизмы и ферменты. Вследствие этого смесь рециркуляционной воды с неочищенными сточными водами приобретает свойства, обеспечивающие повышение скорости окисления загрязненной биопленкой. При рециркуляции в процессе очистки с большей эффективностью участвует нижний слой загрузки биофильтра, уменьшается опасность заиливания загрузки, сглаживаются пики концентраций загрязнений сточных вод, обеспечивается более равномерная гидравлическая нагрузка биофильтра в течение суток. Рециркуляция обязательна во всех случаях, когда БПК<sub>п</sub> сточных вод превышает 220 мг/л при очистке их на капельных биофильтрах, 300 мг/л при очистке на высоконагружаемых биофильтрах, 250 мг/л на биофильтрах с пластмассовой загрузкой.

Рециркуляция как способ интенсификации работы действующих биофильтров может быть осуществлена несколькими путями. Рециркуляционную воду отбирают из канала после вторичных отстойников и смешивают ее со сточными водами, осветленными в первичных отстойниках (рис. 2.21, а). В этом случае введение рециркуляции увеличивает нагрузку на вторичные отстойники, поэтому в большинстве случаев необходимо строительство дополнительных отстойников.

Роль рециркуляции существенно повышается, если рециркуляционная вода забирается вместе с осевшей биопленкой из осадочной части вторичных отстойников и смешивается с неочищенными сточными водами перед первичными отстойниками (рис. 2.21, б).

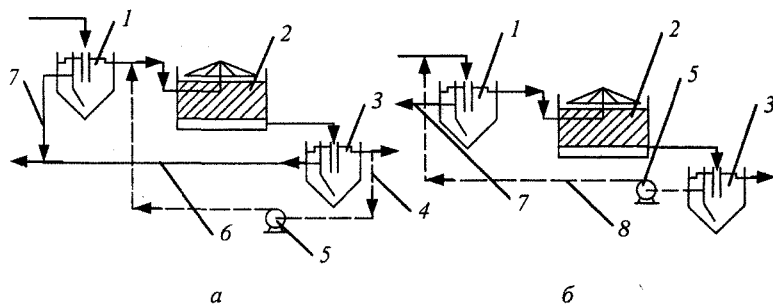


Рис. 2.21. Схема очистки сточных вод на биофильтрах с рециркуляцией очищенной воды: 1 – первичный отстойник; 2 – биофильтр; 3 – вторичный отстойник; 4 – рециркуляционная вода; 5 – насос; 6 – биопленка; 7 – сырой осадок; 8 – рециркуляционная вода с биопленкой

В смеси сточных вод уже на этапе первичного их осветления начинаются процессы биологической очистки, часть растворенных и коллоидных загрязнений удаляется из воды за счет биокоагуляции их биопленкой. Применение рециркуляции с подачей биопленки в первичные отстойники позволяет в сравнении с обычной схемой повысить эффект очистки сточных вод на биофильтрах с 75–80 до 80–85 % при нагрузке по БПК<sub>20</sub> 3,2 кг/м<sup>3</sup>·сут.

Описанный способ рециркуляции позволяет сохранить прежним объем вторичных отстойников, рабочая зона которых в этом случае рассчитывается только на расход очищаемых сточных вод, но требует увеличения объема первичных отстойников пропорционально рециркуляционному расходу. Нужно отметить, что суммарный объем первичных и вторичных отстойников при описанных способах рециркуляции не меняется, если продолжительность первичного и вторичного отстаивания, а также коэффициенты рециркуляции одинаковы.

Разработан способ очистки сточных вод, в котором рационально сочетаются рециркуляция очищенной воды и флотационное осветление ее перед подачей на биологические фильтры. Сущность способа заключается в том, что рециркуляционная вода, отбираемая вместе с биопленкой из осадочной части вторичных отстойников, используется в качестве рабочей жидкости биокоагулятора, используемого для предварительного осветления сточных вод (рис. 2.22).

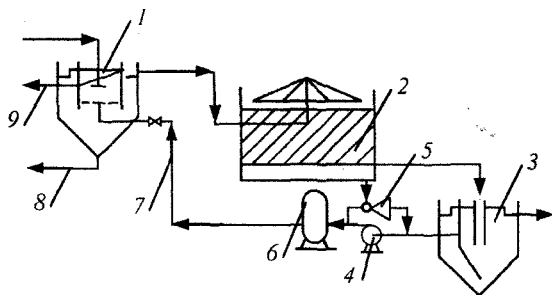


Рис. 2.22. Схема очистки сточных вод на биофильтрах с предварительным флотационным осветлением воды: 1 – флотационный биокоагулятор; 2 – биофильтр; 3 – вторичный отстойник; 4 – насос; 5 – водоструйный эжектор; 6 – напорный бак; 7 – рециркуляционная рабочая жидкость; 8 – осадок; 9 – флотационный шлам

Опытно-промышленные испытания способа были проведены на двух видах сточных вод: смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, поступающих в городские очистные сооружения (город Ровно), и смеси производственных стоков льнокомбината, мясокомбината, фабрики нетканых материалов с незначительной примесью хозяйственно-бытовых сточных вод.

Установлено, что высокий и устойчивый эффект предварительной очистки сточных вод наблюдается при гидравлических нагрузках, составляющих 6–8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч. При коэффициентах рециркуляции 0,5–1 эффект удаления взвешенных веществ составил 61,0–64,4 %, органических веществ БПК<sub>5</sub> 35–38 %. Коэффициент рециркуляции при очистке был принят равным 0,5.

Максимальная гидравлическая нагрузка на контрольный биофильтр 16 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч, а на биофильтр, очищающий сточные воды после флотационного осветления, 22 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·сут. Качество очищенной воды в обоих случаях практически одинаково. Очистку смеси производственных сточных вод производили при коэффициенте рециркуляции равном единице. Гидравлическая нагрузка на контрольный биофильтр была доведена до 20, а на опытный биофильтр до 28 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·сут. При указанных параметрах на обоих биофильтрах была обеспечена полная биологическая очистка сточных вод с практически одинаковым качеством очищенной воды.

Достигнутое увеличение производительности опытного биофильтра на 37–40 % в сравнении с контрольным дает основание считать, что рекомендуемый способ может с успехом применяться на станциях биофильтрации.

**Искусственная вентиляция загрузки биофильтров.** Обеспеченность микроорганизмов биологической пленки кислородом является важнейшим фактором, определяющим эффективность работы биофильтров. Дефицит кислорода может быть особенно выражен в капельных и высоконагружаемых биофильтрах с объемной засыпной загрузкой из щебня, гравия, керамзита, кокса, шлака. Активная биомасса в таких биофильтрах обычно очень неравномерно распределена по высоте загрузки. Около 70 % аэробных микроорганизмов сосредоточено в верхнем слое загрузки толщиной до 250 мм. В более глубоких слоях в большом количестве присутствуют анаэробные микроорганизмы, что является следствием ощущаемого здесь дефицита кислорода.

Существование в загрузке анаэробных зон обусловлено ее заиливанием из-за перегрузки биофильтра поступающими загрязнениями при недостаточной гидравлической нагрузке. Вместе с тем, дефицит кислорода в загрузке биофильтров может быть вызван недостаточной интенсивностью ее вентиляции, особенно естественной, рассчитанной в основном на поступление воздуха в толщу загрузки, обусловленной разницей его температур внутри и снаружи биофильтра. Интенсивность естественной вентиляции загрузки зависит от ее сопротивления движению воздуха, которое возрастает по мере зарастания загрузки биопленкой. Прекращение поступления кислорода в загрузку вызывает гниение биопленки и выход биофильтра из строя. Такой опасности в наибольшей степени подвержены капельные биофильтры. Аэрацию их загрузки можно улучшить применением вентиляторов для подачи воздуха в междудонное пространство под слой загрузочного материала.

Найденное расчетным путем необходимое количество воздуха способно обеспечить биохимические процессы кислородом только при равномерном распределении его по всему объему загрузки, что возможно лишь при одинаковом ее гидравлическом сопротивлении по всей площади биофильтра. К сожалению, такие случаи весьма редки из-за неоднородности загрузки по гранулометрическому составу и наличию локальных заиленных участков. Поэтому перед переводом биофильтра на работу с искусственной вентиляцией необходимо устранить непроходимость отдельных участков для воды и воздуха, наблюдаемую чаще всего в местах, где сосредоточен неоднородный загрузочный материал или не обеспечена достаточная интенсивность орошения загрузки. При необходимости надо промыть или заменить всю загрузку биофильтра или ее верхний слой. Биофильтры при переводе их с естественной на искусственную вентиляцию загрузки оборудуются герметичными заглушками на отверстиях, используемых при естественной вентиляции, а также гидрозатворами на лотках или трубопроводах для отвода очищенной воды.

Известно, что процесс биологической очистки сточных вод на биофильтрах можно интенсифицировать вентиляцией загрузки в направлении сверху вниз, т.е. одинаковом с направлением движения воды в биофильтре. При такой системе свежий воздух с большим содержанием кислорода поступает в верхнюю зону загрузки, где с наибольшей интенсивностью протекают биохимические процессы окисления загрязнений и потребность в кислороде максимальна. Биофильтры с нисходящим потоком воздуха работают надежно и отличаются от обычных повышенной мощностью. Однако их приходится делать закрытыми, что усложняет конструкцию. Вместе с тем возможен простой способ решения задачи вентиляции открытых биофильтров с подачей воздуха в загрузку в направлении сверху вниз. Для этого необходимо подключить всасывающий воздуховод вентилятора или воздуходувки к междулонному пространству биофильтра (рис. 2.23), что и обеспечит нужное направление движения воздуха в загрузке.

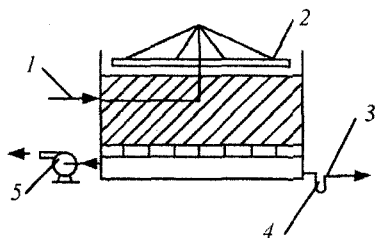


Рис. 2.23. Биофильтр с вентиляцией загрузки в направлении сверху вниз: 1 – подающий трубопровод; 2 – распределительное устройство; 3 – отводящий трубопровод; 4 – гидравлический затвор; 5 – вентилятор

В целях повышения степени использования кислорода воздуха и сокращения затрат электроэнергии на вентиляцию загрузки воздух, заби-



раемый из междудонного пространства одного биофильтра, тем же вентилятором может быть подан в другой биофильтр для обычной вентиляции в направлении снизу вверх.

**Применение новых видов загрузочных материалов.** Одним из радикальных путей интенсификации работы биофильтров является увеличение количества активной биологической пленки в фильтрующей загрузке. При прочих равных условиях количество биопленки будет возрастать пропорционально увеличению удельной поверхности загрузочного материала.

Засыпные загрузки большинства действующих биофильтров при крупности фракций 25–65 мм имеют удельную поверхность размером 50–125 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Пористость загрузок из гравия, щебня и других подобных материалов составляет 40–50 %, т.е. более половины объема загрузки занято инертным материалом. Низкая пористость является причиной плохой вентиляции и частого заиливания засыпных загрузок.

В последние годы в нашей стране и за рубежом предложено большое количество новых видов загрузочных материалов из плоскостных элементов из пластмасс, асбестоцемента и др. Фильтрующие загрузки из таких элементов имеют хорошую развитую поверхность (90–250 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) и высокую пористость (более 90 %). Именно этот тип загрузки может с успехом заменить традиционно применяемые, что позволяет в 3–4 раза увеличить окислительную мощность высоконагружаемых биофильтров и в 8–10 раз капельных (табл. 2.8). Высокая пористость плоскостных загрузок делает их практически незаиливающимися и обеспечивает интенсивную естественную аэрацию. Практическое использование плоскостных пластмассовых загрузок на действующих биофильтрах ограничивается пока их недостаточным производством.

Таблица 2.8

| Тип биофильтра                 | Пористость, % | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> | Окислительная мощность, кг/м <sup>3</sup> ·сут |
|--------------------------------|---------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Капельный                      | 40            | 125                                                  | 0,2                                            |
| Высоконагружаемый с загрузкой: |               |                                                      |                                                |
| из щебня                       | 50            | 65                                                   | 0,65                                           |
| плоскостной полиэтиленовой     | 87            | 250                                                  | 3,6                                            |
| плоскостной из асбестоцемент-  |               |                                                      |                                                |
| ных листов                     | 80            | 60                                                   | 1,2                                            |
| блочной из пеностекла          | 60            | 70                                                   | 1,35                                           |
| мягкой пленочной               | 99            | 40                                                   | 1,05                                           |
| Башенный                       | 60            | 50                                                   | 1,5                                            |

При необходимости засыпная загрузка действующих биофильтров заменяется загрузкой из асбестоцементных листов или пеностекла, что позволяет существенно повысить окислительную мощность биофильтров.

Интенсификация работы биофильтра возможна также при использовании в биофильтрах неоднородных по высоте слоев композитных загрузок. Верхние слои загрузки должны быть из крупного материала, средние и нижние – из мелкого. Использование неоднородных загрузок позволяет интенсифицировать процесс удаления загрязнений, исключить заиливание, повысить надежность работы биофильтров.

**Использование комбинированных технологических схем очистки сточных вод на биофильтрах.** При перегрузке биофильтров по количеству поступающих загрязнений интенсификация биохимических процессов и улучшение условий выноса из загрузки биопленки достигается переводом биофильтров на двухступенчатый режим работы, когда на часть секций биофильтров подают воду, прошедшую очистку на другой части биофильтров (рис. 2.24, 2.25).

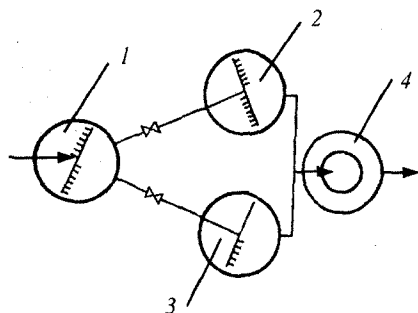


Рис. 2.24. Ступенчатая биофильтрация с выделением сорбционной зоны изъятия загрязнений: 1 – биофильтр первой ступени; (сорбционная очистка); 2, 3 – биофильтры второй ступени; 4 – вторичный отстойник

В таком случае при одинаковой площади секций биофильтров, отводимых под первую и вторую ступень, гидравлическая нагрузка на каждую из них возрастает вдвое. Возможен вариант, при котором несколько секций биофильтра переводятся в режим работы высоконагружаемых, а остальные работают как капельные.

Двухступенчатая очистка сточных вод потребует, возможно, увеличения пропускной способности трубопроводов, обслуживающих отдельные секции биофильтров, установки насосов для перекачивания сточных вод на биофильтры второй ступени и устройства промежуточных вторичных отстойников с продолжительностью отстаивания один час после биофильтров первой ступени.

При переводе биофильтров на режим двухступенчатой очистки необходимо учитывать, что, в соответствии с действующими нормативами, гидравлические нагрузки биофильтров должны находиться в нормируемых пределах:  $1\text{--}3 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$  для капельных биофильтров,  $10\text{--}30 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$  для высоконагружаемых. Как показывает опыт, эффективная работа биофильт-

ров при рециркуляции и подаче в них достаточного количества воздуха возможна при значительно больших гидравлических нагрузках, чем нормируемые. Улучшить работу перегруженных биофильтров можно посредством включения в технологическую схему высоконагружаемого аэротенка-смесителя, расположенного перед биофильтрами (рис. 2.26).

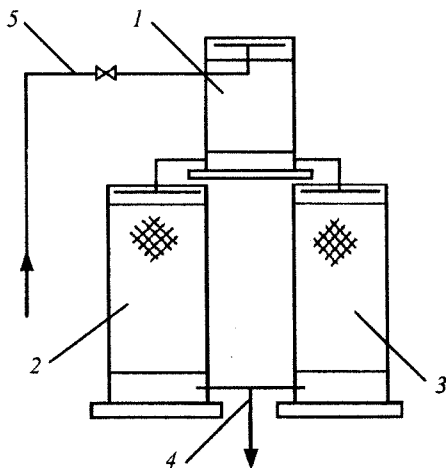


Рис. 2.25. Ступенчатая биофильтрация (вертикальные схемы): 1 – биофильтр первой ступени; 2, 3 – биофильтры второй ступени; 4 – отвод вторичных сточных вод; 5 – подача неочищенных сточных вод

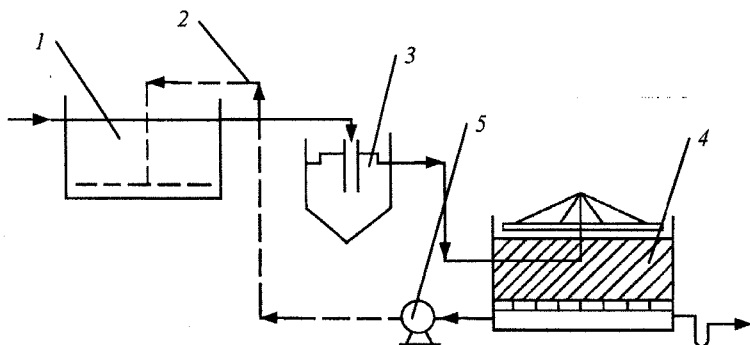


Рис. 2.26. Схема двухступенчатой очистки сточных вод с аэротенком перед биофильтрами: 1 – высоконагружаемый аэротенк; 2 – воздух; 3 – вторичный отстойник; 4 – биофильтр; 5 – воздуходувка

Задачей аэротенка-смесителя является снижение концентраций органических примесей в воде, поступающей на завершающую стадию биологической очистки.

В качестве аэротенка первой ступени используются аэротенки-отстойники, аэротенки-осветлители, а также аэротенки с отдельно расположенным вторичным отстойником. Аэротенки первой ступени могут быть оборудованы механическими, струйными или пневматическими аэраторами.

В последнем случае забор воздуха, подаваемого в аэротенки, целесообразно производить из междудонного пространства биофильтров, что обеспечит нисходящее движение воздуха в системе биофильтр-аэротенк.

Возможна технологическая схема двухступенчатой биологической очистки сточных вод с аэротенками после биофильтров (рис. 2.27).

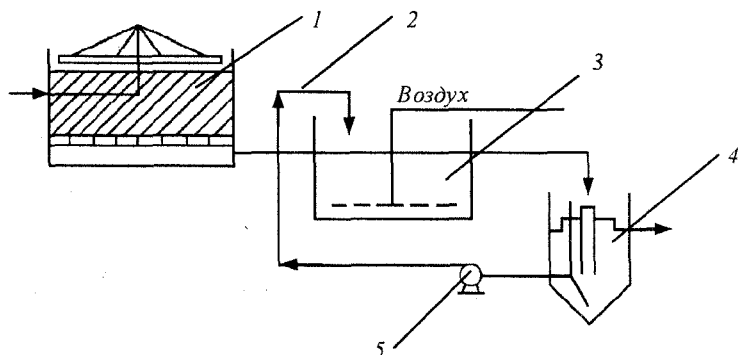


Рис. 2.27. Схема двухступенчатой очистки сточных вод с аэротенком после биофильтров: 1 - биофильтр; 2 - возвратный активный ил; 3 - аэротенк; 4 - вторичный отстойник; 5 - насос

Строительство аэротенков второй ступени в дополнение к существующим биофильтрам во многих случаях осуществить проще, чем строительство их перед биофильтрами. В аэротенки второй ступени подается неосветленная вода после биофильтров, а существующие вторичные отстойники используются для отделения от очищенной воды активного ила. Учитывая, что продолжительность вторичного отстаивания сточных вод после аэротенков должна быть не менее двух часов, одновременно со строительством аэротенков в большинстве случаев потребуется некоторое расширение вторичных отстойников.

## 2.2.6. Реконструкция сооружений по доочистке сточных вод

Далее излагаются некоторые особенности использования барабанных сеток, микрофильтров и фильтров для доочистки сточных вод при реконструкции очистных сооружений.

Микрофильтры как самостоятельные сооружения для доочистки сточных вод рекомендуется использовать тогда, когда допустимая глубина доочистки сравнительно меньше той, которая достигается на фильтрах с зернистой загрузкой.

Для нормальной работы микрофильтров концентрация взвешенных веществ в исходной воде не должна превышать 40 мг/л. При доочистке на микрофильтрах сточных вод с концентрацией взвешенных веществ 15–20 мг/л обеспечивается снижение концентрации взвешенных веществ на 50–60 %, БПК – на 25–30 %.

В процессе эксплуатации микрофильтров происходит биообрастание сетки. Для предотвращения этого явления делают периодическую обработку сетки хлорной водой, возможно также непрерывное введение хлора в промывную воду при расходе ее не менее 5 % общего расхода обрабатываемых вод. Поскольку при наличии в сточной воде аммонийного азота происходит интенсивная коррозия меди, то рабочие и поддерживающие сетки микрофильтров должны быть из нержавеющей стали.

Барабанные сетки с отверстиями размером 0,3–0,5 мм устанавливают перед фильтрами с зернистой загрузкой и задерживают поступающие из сточных вод крупные примеси для защиты фильтров от засорения. Эффективность задержания взвешенных веществ на барабанных сетках составляет 20–25 %, снижение БПК<sub>д</sub> – 5–10 %.

При условии изготовления каркаса и сеточных элементов из полимерных некорродирующих материалов возможности использования сетчатых фильтров для доочистки сточных вод могут быть значительно расширены.

Особенную роль в работе фильтров играют биохимические процессы, происходящие в зернистой загрузке. На зернах загрузки фильтров образуется биологическая пленка, в состав которой входят аэробные микроорганизмы, сохраняющие свою жизнеспособность благодаря кислороду, растворенному в биологически очищенных водах. Таким образом, фильтрующая загрузка выполняет роль биологического фильтра, в котором продолжается биохимическое окисление загрязнений.

Интенсифицировать процесс фильтрации сточных вод на фильтрах с задачей воды сверху вниз, повысить эффект снижения БПК и улучшить условия промывки загрузки можно путем предварительного осветления сточных вод напорной флотацией. При этом качестве флотационной камеры целесообразно использовать объем фильтра, расположенный над фильтрующей загрузкой (рис. 2.28).

Вода после вторичных отстойников насыщается воздухом под давлением 0,2–0,3 МПа в течение 3 мин и подается на фильтры. Распределение сточных вод в каждом фильтре рекомендуется выполнять через дырчатые трубы, проложенные в желобах для сбора и отведения промывной воды.

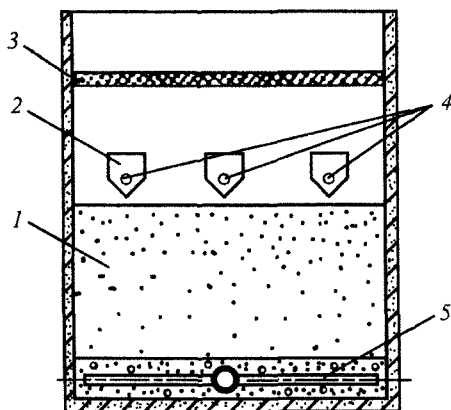


Рис. 2.28. Скорый фильтр с камерой флотации над фильтрующей загрузкой: 1 – фильтрующая загрузка; 2 – промывной желоб; 3 – флотационный шлам; 4 – дырчатые трубы для распределения рабочей жидкости; 5 – дренажная система

Флотационный шлам, образующийся на поверхности воды, удаляется во время промывки фильтра вместе с промывной водой. При поступлении сточных вод на фильтр самотеком флотационное осветление воды ведут по схеме напорной флотации с разделением потоков или рециркуляцией рабочей жидкости.

Флотационное осветление позволяет удалить не менее 50 % взвешенных веществ и увеличить концентрацию растворенного кислорода в воде, поступающей на фильтр. При этом отпадает необходимость в установке перед фильтром барабанных сеток.

Интенсификация биохимических процессов в зернистой загрузке и повышение эффекта доочистки сточных вод достигается в аэрируемых фильтрах. Верхний ярус двухъярусного фильтра или вторая ступень двухступенчатого фильтра служат для удаления растворенных и коллоидных органических загрязнений, а также для насыщения воды кислородом. На аэрированных фильтрах удается понизить концентрацию взвешенных веществ на 80–90 %, БПК<sub>п</sub> на 75–80 %, ХПК на 30–45 %.

Расчетные параметры аэрированного фильтра таковы: скорость фильтрации 7 м/ч; крупность фильтрующей загрузки 1–1,8 мм; общая высота слоев загрузки верхнего и нижнего ярусов 1,8–2 м; интенсивность аэрации 0,7–1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч; продолжительность фильтроцикла 2–4 ч; интенсивность промывки нижнего яруса 17–18 л/м<sup>2</sup>·с при продолжительности промывки 7–8 мин, верхнего яруса 10–12 л/м<sup>2</sup>·с. Верхний ярус промывается в 4–5 раз реже, чем нижний.

Аэрированный крупнозернистый фильтр «Оксипор» отличается от описанных ранее тем, что при фильтрации воды сверху вниз аэрация загрузки проводится в верхней его зоне, а нижняя часть загрузки используется для механической задержки взвешенных веществ (рис. 2.29).

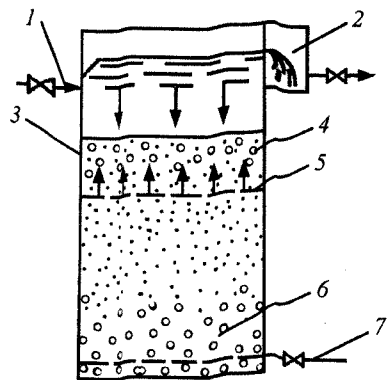


Рис. 2.29. Фильтр «Оксипор»: 1 — подача сточной воды; 2 — лоток промывной воды; 3 — корпус фильтра; 4 — загрузка; 5 — система распределения воздуха; 6 — гравийный слой; 7 — отвод фильтрованной воды

Для загрузки фильтров «Оксипор» используется недробленый керамзит с крупностью зерен 5–10 мм и высотой слоя 1,2 м. Поддерживающий слой толщиной 0,4 м выполнен из гравия крупностью 10–12 мм. На глубине 50–60 см от верха загрузки размещается верхняя грубчатая система распределения воздуха, выполненная из стальных или пластмассовых труб с отверстиями не более 3 мм.

Расчетные параметры фильтра «Оксипор»: скорость фильтрации 3 м/ч; расход воздуха 3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воды, интенсивность промывки 14–16 л/м<sup>2</sup>·с при продолжительности 10 мин; частота промывки один раз в сутки. На фильтре обеспечивается следующий эффект очистки: по БПК<sub>5</sub> на 80 %, по взвешенным веществам 80–90 %, ХПК — 70 %.

Для доочистки сточных вод можно эффективно использовать фильтры с плавающей загрузкой из пенополистирола, шунгизита или других материалов с плотностью менее плотности воды. Целесообразнее всего использовать фильтры с нисходящим фильтрующим потоком типа ФПЗ-4.

Движение воды в фильтре происходит в направлении снижения крупности неоднородной загрузки гранулами диаметром 0,5–12 мм. Отведение фильтрованной воды производится через дренаж в нижнем слое мелкозернистой загрузки, что предотвращает расширение этого слоя и вынесение задержанных загрязнений. Выключается на промывку фильтр при достижении предельных потерь напора в загрузке (2–2,5 м) или при увеличении концентрации взвешенных веществ в фильтре выше допустимой. Промывка плавающей загрузки выполняется нефильтрованной водой из надфильтрового пространства и заканчивается при снижении уровня воды в фильтре до минимальной отметки  $Z_{\min}$ .

При высоте слоя загрузки 1200 мм, исходной концентрации взвешенных веществ 20–40 мг/л, скорости фильтрации 8–12 м/ч эффект снижения концентрации взвешенных веществ составляет 80–90 %, БПК<sub>5</sub> — 60–70 %. Про-

должительность фильтроцикла 12–24 ч, промывка загрузки проводится при интенсивности 8–12 л/м<sup>2</sup>·с на протяжении 4–6 мин.

При использовании фильтров с плавающей загрузкой отпадает необходимость в установке барабанных сеток, промывных насосов, резервуаров для хранения промывной воды, трубопроводов для ее подачи. Замена в фильтрах традиционной песчаной загрузки на плавающую с переходом на режим фильтрования по схеме ФПЗ-4 позволяет увеличить производительность фильтровальной станции, повысить эффект очистки, снизить расходы на доочистку сточных вод.

Существенную интенсификацию процесса доочистки сточных вод обеспечивает гидропневматический фильтр АФПЗ. Конструкция фильтра предусматривает поступление в загрузку атмосферного воздуха при периодическом снижении уровня воды в фильтре, что способствует интенсификации биохимических процессов в загрузке. Загрузка фильтра АФПЗ изготовлена из пенополистирола с размером зерен 0,8–1,2 мм и высотой слоя 1,2–1,5 м. При концентрации взвешенных веществ в исходной воде до 30 мг/л и скорости фильтрования 15 м/ч эффект удаления взвешенных веществ составляет 80–95 %, БПК<sub>5</sub> – 60–75 %, ХПК – 50–60 %, продолжительность фильтроцикла 24–48 ч.

Реконструкция биологических прудов для глубокой очистки сточных вод с целью интенсификации их работы может осуществляться по следующим основным направлениям: применение искусственной аэрации; культивирование водорослей и высшей водной растительности; создание ступенчатой очистки.

В биологических прудах должен обеспечиваться строго аэробный биологический процесс, поэтому концентрация кислорода, растворенного в воде, должна быть не менее 1 мг/л. Для успешной работы таких прудов необходима достаточно высокая температура воды в зимний период и перемешивание объема воды, чтобы исключить образование анаэробных зон. Аэробные пруды с искусственной аэрацией имеют в 5–10 раз меньше площадь, чем пруды с естественной аэрацией из-за интенсификации в них биохимических процессов и увеличения глубины до 3–5 м.

Пневматические мелко- и крупнопузырчатые аэраторы широкого применения в биологических прудах не нашли, что было обусловлено частым засорением пластин фильтров и нерациональным использованием воздуха в случае применения дырчатых труб или купольных аэраторов.

Чаще всего в биологических прудах применяют механические, пневмомеханические и струйные аэраторы разных типов. Наибольший эффект дает применение движущихся (планетарных) аэраторов, которые устанавливаются на понтонах. Площадь зоны действия каждого такого аэратора может быть увеличена минимум в 4–5 раз по сравнению с аэраторами, установленными



стационарно. Хорошо зарекомендовали себя плавающие аэраторы марок АВД и АВО, окислительная мощность которых достигает 25–30 кгО<sub>2</sub>/ч.

Геометрические размеры биологических прудов с искусственной аэрацией необходимо увязывать с перемешивающей способностью установленных аэраторов. Необходимо стремиться, чтобы при любой системе аэрации каждая порция сточных вод хотя бы один раз попадала в активную зону действия аэратора. В таком случае наиболее рациональной конструкцией секций прудов являются коридорные. Целесообразно идти по пути уменьшения единичной мощности и увеличения количества механических и пневмомеханических аэраторов.

Хорошие результаты получены при интенсификации работы проточных и непроточных биологических прудов путем использования различных культур протоковых водорослей. Ведущая роль среди них принадлежит массовым видам дикорастущих водорослей типа вольвоксовых, эвгленовых, диатомовых и протококковых, которые насыщают воду водоема растворенным кислородом, что препятствует массовому развитию в биологических прудах сине-зеленых водорослей.

Другим способом интенсификации биологической и глубокой очистки сточных вод в биологических прудах является культивирование в них высших водных растений – макрофитов. Этот метод, получивший название *биогидроботанического*, основан не только на фильтровании, поглощении и накоплении органических и неорганических загрязнений, их минерализации и детоксикации. Исследованиями установлено, что макрофиты могут изымать из сточной воды фенолы, роданиды, соли тяжелых металлов, биогенные элементы и другие виды загрязнений.

Особенно эффективно использование таких растений, как камыш озерный, тростник обыкновенный, рогоз узколистый, элодея, рдесты. Подбор и высаживание в биологическом пруду в определенном порядке по ходу движения воды различных видов макрофитов позволяет добиться высокой степени очистки городских и производственных сточных вод. Кроме того, при этом происходит обеззараживание сточных вод. Так, в процессе метаболизма мощная корневая система тростника, превышающая в 3–5 раз надземную биомассу, выделяет в воду бактерицидные вещества.

Высшая водная растительность препятствует ветровому перемещению воды с места поступления в пруд к месту ее выпуска из пруда. Это увеличивает время ее пребывания в месте очистки, а также способствует оптимальному распределению очищаемой жидкости в объеме пруда, что предотвращает короткозамкнутые токи воды.

Приближение гидродинамических условий работы биологических прудов к условиям работы реактора-вытеснителя необходимо считать одним из основных способов повышения эффективности их работы. Целесообразно устраивать перегородки в границах каждой секции пруда и разделить его

объем на коридоры, через которые последовательно будут протекать сточные воды. Соотношение общей длины последовательных коридоров к ширине должно быть не менее 20. Перегородки в биопрудах могут быть упрощенной конструкции и выполняться из плоских асбестоцементных или пластмассовых листов, облегченных железобетонных конструкций и других материалов.

Улучшить гидравлический режим работы биологических прудов можно также за счет рассредоточенной подачи сточных вод по ширине каждой секции и такого же рассредоточенного сбора доочищенных сточных вод с противоположной стороны.

Интенсивность процессов доочистки сточных вод в биологических прудах существенно повышается при введении рециркуляции очищенной воды или активного ила, удаляемого в специальных отстойниках.

За последние годы значительное количество фильтров с песчаной загрузкой для доочистки сточных вод переоборудовано в фильтры-биореакторы с загрузкой из стеклоершей (рис. 2.30). Фильтры-биореакторы показывают стабильно высокий эффект очистки. Принцип их работы и конструкция детально описаны в литературе. При реконструкции песчаных фильтров доочистки из них удаляется песчаная и гравийная загрузка, желоба для сбора промывной воды и некоторые коммуникации, а в высвобождаемые емкости помещаются металлические каркасы с начинкой из полимерных ершей.

Рассмотрим методику расчета фильтров-биореакторов. Окислительная мощность биомассы прикрепленных микроорганизмов фильтров-биореакторов доочистки городских сточных вод определяется по формуле

$$OM = \rho X, \quad (2.8)$$

где величина  $X$  зависит от количества полимерных ершей в объеме фильтра-биореактора. Обычно заполнение емкости производится на 0,8 части, а в каркасе ерши размещаются с шагом 70 мм, поэтому в 1 м<sup>3</sup> объема фильтра-биореактора будет размещаться 160 пог. м ершей. На одном погонном метре ершей удерживается до 30 г активной биомассы микроорганизмов по беззольному веществу. Поэтому средняя концентрация биомассы микроорганизмов в фильтре-биореакторе составит  $X = 160 \cdot 30 = 4800$  мг/л = 4,8 г/л. Величина удельной скорости окисления органических веществ  $\rho$  может быть найдена из следующего уравнения, предложенного профессором Н.И. Куликовым,

$$\rho = \frac{\rho_{\max}^{\text{дооч}} L_{\text{ex}}}{\left( (K_L^{\text{дооч}} + L_{\text{ex}} (1 + K_0/C_0)) (1 + \phi X) \right)}, \quad (2.9)$$

где  $\rho_{\max}^{\text{дооч}}$  – максимальная скорость окисления, мг/г·ч;  $L_{\text{ex}}$  – БПК<sub>п</sub> очищенной сточной жидкости, мг  $\text{O}_2$ ;  $K_L^{\text{дооч}}$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК<sub>п</sub>/л;  $K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, мг  $\text{O}_2$ /л;  $C_0$  – концентрация растворенного кислорода,  $C_0 = 4$  мг/л;  $\phi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г.

Для фильтров-биореакторов рекомендуются следующие значения параметров:  $\rho_{\max}^{\text{дооч}} = 57,9$ ;  $K_L^{\text{дооч}} = 34,5$ ;  $K_0 = 0,625$ ;  $C_0 = 4$ ;  $\phi = 0,09$ .

Исходя из окислительной мощности биомассы прикрепленных микроорганизмов и продолжительности доочистки, снижение концентрации загрязнений в фильтре-биореакторе составит:

$$\Delta L_{\text{дооч}} = OMt_1 = \frac{t_1 \rho_{\max}^{\text{дооч}} L_{\text{ex}}}{\left( (K_L^{\text{дооч}} + L_{\text{ex}} (1 + K_0/C_0)) (1 + \phi X) \right)}, \quad (2.10)$$

где  $t_1$  – продолжительность пребывания сточных вод в фильтре-биореакторе.

Из баланса количества загрязнений найдем

$$\Delta L_{\text{дооч}} = L_{\text{en}} + C_{\text{в.в}} (1 - S) \Delta - L_{\text{ex}}, \quad (2.11)$$

где  $\Delta$  – прирост активного ила в загрузке биореактора,  $\Delta = 0,3$ ;  $L_{\text{en}}$  – концентрация органических загрязнений на входе в биофильтр, мг/л;  $C_{\text{в.в}}$  – концентрация взвешенных веществ в слое сточной воды после вторичных отстойников, мг/л;  $S$  – зольность ила,  $S = 0,3$ ;  $L_{\text{ex}}$  – БПК сточной жидкости после доочистки, мг/л.

Приравнявая правые части выражений (2.10) и (2.11), получаем:

$$\begin{aligned} \frac{t_1 \rho_{\max}^{\text{дооч}} L_{\text{ex}}}{\left( (K_L^{\text{дооч}} + L_{\text{ex}} (1 + K_0/C_0)) (1 + \phi X) \right)} &= \\ &= L_{\text{en}} + C_{\text{в.в}} (1 - S) \Delta - L_{\text{ex}}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Из выражения (2.12) значение  $L_{\text{ex}}$  находят подбором, задаваясь значением  $L_{\text{ex}}$ .

Для создания циркуляционных потоков и насыщения доочищенных сточных вод кислородом воздуха необходимо до  $2 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^3$  объема фильтра-биореактора.

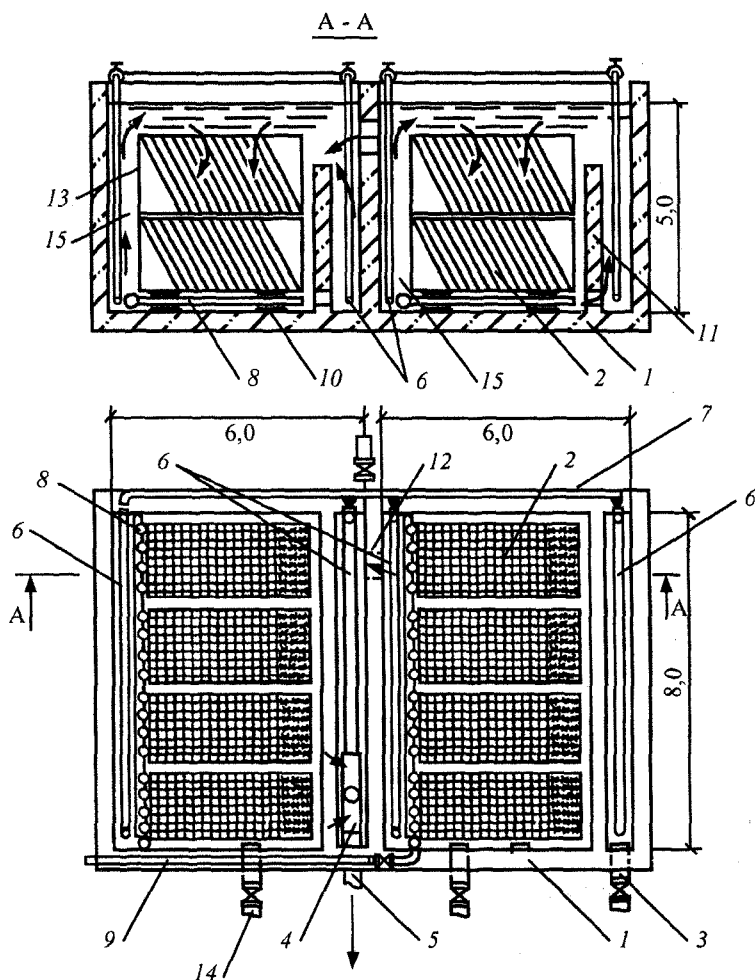


Рис. 2.30. Фильтр-биореактор с загрузкой из стеклоершей: 1 – резервуар; 2 – загрузка из стеклоершей; 3 – трубопровод подачи сточных вод; 4 – сборный желоб; 5 – трубопровод отвода воды; 6, 8 – барботер; 7, 9 – воздухопровод; 10 – опоры; 11 – окна; 12 – перепускное окно; 13 – стенка контейнера; 14 – трубопровод опорожнения; 15 – эрлифтная ниша

Регенерация ершей первого отсека фильтра-биореактора производится один раз в 10 сут, а второго – один раз в 20 сут. При этом объем промывной воды при одной регенерации примерно в 5 раз меньше, а в среднем за сутки в 200 раз меньше по новой технологии доочистки по сравнению с обычными фильтрами. В регенерационной жидкости первого отсека фильтра-биореакто-

ра концентрация взвешенных веществ составляет 2–4,5 г/л, а второго 0,8–1,5 г/л. Регенерационную жидкость необходимо отводить в первичные отстойники. Потери за год массы стеклоершей около 4 %.

Аэрационная система устраивается из перфорированных труб. Скорость движения воздуха в трубе принимается 7 м/с, а в отверстиях 10 м/с, диаметр отверстий 4–5 мм.

При регенерации фильтра интенсивность подачи воздуха по специальной системе трубопроводов составляет 10 л/с·м<sup>2</sup>. Количество отверстий диаметром 5 мм подбирается по скорости выхода воздуха из них 15 м/с.

## 2.2.7. Удаление из сточных вод азота и фосфора

Традиционная биологическая очистка позволяет изъять основную массу органических загрязняющих веществ, но по требованиям настоящего времени не может обеспечить достаточную глубину удаления азота и фосфора.

В сточных водах фосфор встречается в виде фосфатов, полифосфатов и фосфорсодержащих органических соединений. В биологически очищенных сточных водах фосфор присутствует в основном в виде ортофосфатов.

Глубокое удаление азота из городских сточных вод представляет значительные трудности, поскольку нормируются три вида соединений азота: аммоний солевой, нитраты и нитриты. Универсальным методом удаления азота является *биологическая нитрификация–денитрификация*. В процессе нитрификации происходит окисление аммония солевого кислородом воздуха до нитритов и нитратов. В ходе денитрификации восстанавливаются нитриты и нитраты до свободного азота, который выделяется в атмосферу. Для небольших производительностей (до 400 м<sup>3</sup>/сут) эти процессы могут быть реализованы в одном сооружении – аэротенке с продленной аэрацией. Процесс денитрификации обеспечивается при наличии в воде определенного количества органического субстрата, окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O за счет кислорода азотсодержащих соединений. Наиболее эффективно процесс денитрификации протекает при pH = 7–7,5, при pH выше 9 и ниже 6 процесс затормаживается.

В качестве органического субстрата могут быть использованы исходные или прошедшие очистку, а также органосодержащие производственные сточные воды, не имеющие в составе аммонийного, органического и белкового азота. Необходимое соотношение БПК в сточных водах к нитратному азоту ориентировочно 4 : 1.

Для процессов нитрификации и денитрификации используются обычные сооружения биологической очистки: аэротенки и биофильтры.

При удалении соединений азота из сточных вод могут применяться разные схемы очистки: одно-, двух- или трехстадийные. В каждой схеме процесс денитрификации может осуществляться в начале, середине или конце сооружения, с искусственной добавкой сточных вод, проведением процесса денитрификации в аэробных или анаэробных условиях, с дополнительной рециркуляцией иловой смеси в начало резервуара из его конца или из вторичного отстойника, а также из одной ступени в другую. Во всех схемах на завершающей стадии устраивают, как правило, аэрацию иловой смеси продолжительностью не менее 1–2 ч для отдувки газообразного азота и более глубокого окисления аммонийного азота. Возможно осуществление процесса в аэротенке-смесителе при попеременном (циклическом) аэрировании и перемешивании иловой смеси в течение короткого времени (1–1,5 ч) при соблюдении необходимого времени пребывания сточной жидкости в сооружении. Для перемешивания иловой смеси могут быть использованы лопастные мешалки с горизонтальной или вертикальной осью вращения, гидравлическое перемешивание, а также перемешивание воздухом с малой интенсивностью, подаваемым по дырчатым трубам или открытыми стояками.

В качестве денитрификаторов применяются как смесители, так и вытеснители. Для осуществления процесса денитрификации в качестве источника углерода в сточные воды искусственно добавляют биологически неконсервативные органические вещества (метанол, органические кислоты и т.д.) или исходные сточные воды из расчета 3–6 мг БПК на 1 мг  $\text{N} - \text{NO}_3^-$ .

Рекомендуется применение денитрификаторов с фиксированной загрузкой. В качестве загрузки допускается использовать кварцевый песок, гравий, рулонную пластмассу, стекловату, а также другие материалы, обладающие высокоразвитой поверхностью и стойкостью к биологическим веществам.

Для удаления аммонийного азота целесообразно применять природный ионообменный материал – клиноптилит, который относится к классу цеолитов. Загруженные этим материалом скорые фильтры обеспечивают эффект удаления аммонийного азота на 90–97 %. Для регенерации фильтров используют раствор хлористого натрия.

При удалении из сточных вод соединений фосфора традиционно применяют реагентную обработку, в процессе которой снижение содержания ортофосфатов происходит в результате химического взаимодействия вводимого реагента с ионами  $\text{PO}_4^{3-}$  с образованием нерастворимых соединений, выпадающих в осадок, и сорбции соединений фосфора хлопьями гидроксидов металлов.

В качестве реагентов могут быть использованы традиционные минеральные коагулянты: сернокислое железо  $\text{Fe}^{3+}$ , сернокислый алюминий, железный купорос, соли  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ , нетоксичные для биологического

процесса. Введение реагентов возможно на ступени механической очистки. Этот процесс рекомендуется для городских сточных вод с величиной БПК<sub>п</sub> более 400 мг/л, а также при перегрузке очистных сооружений. Практически для удаления из сточных вод соединений фосфора применяется биолого-химическая очистка, при которой традиционная схема дополняется реагентным хозяйством. С целью эффективного использования реагента и с учетом его влияния на активный ил возможно введение сернокислого железа в начало аэротенка либо во флотационную емкость, сернокислого железа — перед вторичным отстойником, сернокислого алюминия — в конец аэротенка.

При использовании в качестве реагента сернокислого алюминия для уменьшения концентрации взвешенных веществ в очищенной воде следует добавлять полиакриламид (ПАА) в иловую смесь перед вторичным отстойником с дозой 0,2–1 мг/л. При наличии в схеме очистки сточных вод на завершающем этапе фильтров с повышенной грязестойкостью применение ПАА не обязательно.

Введение реагента на ступени биологической очистки позволяет снизить содержание в воде общего фосфора до 85 %, растворенных фосфатов до 95 %. Более глубокое удаление общего фосфора (до 90–95 %) достигается в процессе доочистки сточных вод фильтрованием.

Рядом экспериментальных работ (НИИ «Водгео», НИИ КВОВ, МосводоканалНИИпроект) было установлено, что наряду с достаточно изученными микроорганизмами в процессе биологического удаления фосфора принимают участие и другие виды, способные окислять органические вещества в условиях денитрификации, т.е. использовать в качестве акцепторов электронов в процессе окисления не кислород, а нитрат ион. Следовательно, в анаэробных условиях могут одновременно происходить процессы денитрификации и дефосфотации без конкуренции микробиального сообщества за легкоокисляемую органику. Осуществление такой технологии возможно в аэротенках обычного типа и размеров при слабokonцентрированной воде и без увеличения количества воздуха.

Практическое подтверждение вышеизложенному получено в условиях эксплуатации реконструированного второго блока сооружений биологической очистки новолуберецкой станции аэрации. Смысл реконструкции заключался в замене сооружений доочистки (фильтры с зернистой загрузкой) на сооружения глубокой биологической очистки с удалением биогенных элементов и значительным снижением концентрации взвешенных веществ и БПК. Суть реконструкции пяти четырехкоридорных секций аэротенков с шириной коридоров 9 м состояла в том, что была изменена ширина коридоров (рис. 2.31).

Первые и третьи коридоры стали использоваться в качестве денитрификаторов, а второй и четвертый в качестве нитрификаторов. Объем каждой секции аэротенков 57 тыс. м<sup>3</sup> при длине 274 м, глубине 6 м и ширине 12 м.

Подача возвратного ила в полном объеме (100 % расхода сточной воды) осуществляется в первый коридор, подача сточной воды ступенчатая – в первый и третий коридоры (по  $0,5q$ ) с возможной вариацией регулирования расходов.

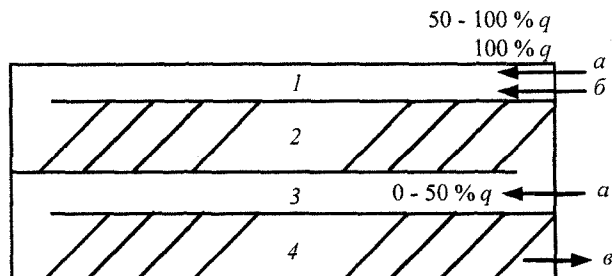


Рис. 2.31. Технологическая схема аэротенков второго блока новолюберецкой станции аэрации ( $q = 500$  тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ ): 1, 3 – зона денитрификации (перемешивание воздухом через дырчатые трубы); 2, 4 – зона нитрификации; а – осветленная сточная вода; б – возвратный ил; в – иловая смесь на вторичные отстойники; заштрихованная часть – зона постоянной аэрации

Система аэрации в нитрификаторах не изменялась, воздух подавался через фильтросные пластины, уложенные в железобетонные каналы вдоль продольных стен, а денитрификационные коридоры аэрируются продольными перфорированными трубами только для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии. В процессе испытаний опробовали два режима: первый – подача всего расхода осветленной воды (500 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ ) в первые коридоры аэротенков; второй – работа по двухоборотной технологии, т.е. когда в первый коридор подается 50 % расхода осветленной воды, а остальная часть – в третий. В результате увеличивается в два раза объем денитрификатора и время пребывания воды в нем, остальные технологические условия очистки сточных вод не изменились. Основные усредненные технологические характеристики работы всего блока представлены в табл. 2.9.

Параметры работы сооружений должны быть следующими: концентрация (доза) возвратного активного ила 5,5–7,5 г/л; концентрация активного ила в конце четвертого коридора аэротенков 2,5–3,5 г/л; концентрация кислорода в зонах денитрификации не должна превышать 1 мг/л в любой точке, а в зоне нитрификации 4 мг/л.

Результаты длительной эксплуатации второго блока новолюберецкой станции аэрации в режиме глубокой биологической очистки показали возможность модернизации обычных четырехкоридорных аэротенков с обеспечением процессов нитри- и денитрификации и дефосфотации без механических или гидравлических перемешивателей анаэробных зон и без дополнительного устройства внутренних рециклов.



Таблица 2.9

| Технологический показатель                                | Первый режим |               | Второй режим |               |
|-----------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
|                                                           | до очистки   | после очистки | до очистки   | после очистки |
| Количество сточных вод, тыс. м <sup>3</sup>               | 484          | —             | 476          | —             |
| Период пребывания воды в сооружениях, ч                   | 14,2         | —             | 14,4         | —             |
| в том числе:                                              |              |               |              |               |
| нитрификаторах                                            | 11,8         | —             | 9,65         | —             |
| денитрификаторах                                          | 2,4          | —             | 4,75         | —             |
| Удельный расход воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>   | 4,2          | —             | 4,1          | —             |
| Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках, ч | 3,1          | —             | 3            | —             |
| Рецикл активного ила, %                                   | 80,2         | —             | 81,2         | —             |
| Доза возвратного ила, г/л                                 | 7,2          | —             | 7,8          | —             |
| Взвешенные вещества, мг/л                                 | 105          | 6,8           | 80           | 5,7           |
| БПК <sub>5</sub> , мг/л                                   | 87           | 2,6           | 84           | 2,2           |
| N-NH <sub>4</sub> , мг/л                                  | 17,5         | 0,24          | 17,7         | 0,28          |
| N-NH <sub>3</sub> , мг/л                                  | —            | 9,51          | —            | 7,8           |
| N <sub>общ</sub> , мг/л                                   | 27,5         | 8,4           | 25,5         | 6,4           |
| Фосфаты (по P), мг/л                                      | 2,2          | 1,5           | 3,1          | 1,7           |
| P <sub>общ</sub> , мг/л                                   | 5,2          | 2,8           | 4,3          | 2,3           |

Одновременно со строительством новых сооружений по описанной выше технологии на курьяновской станции аэрации выполняется реконструкция аэротенков по современному проекту с фирмой «Ковинсоаиб». Основным конструктивным отличием реконструкции аэротенка является устройство перегородки в первом коридоре, что обеспечивает достаточную скорость потока (около 0,3 м/с) в аноксичной зоне, а также обеспечивает перемешивание по принципу карусели. Два средних коридора аэротенка переоборудуются под проведение процессов нитрификации по карусельному типу (рис 2.32). Ожидаемые концентрации загрязнений на выходе:  $N_{\text{общ}} < 6$  мг/л,  $N - NH_4 < 1$  мг/л;  $P_{\text{общ}} < 1$  мг/л.

На люберецкой станции аэрации ведется реконструкция блока общей производительностью 300 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Здесь будет испытываться новейшая технология фирмы «Саарберк Хельтер Вассертехник» (SHW), предусматривающая использование симультанной (одновременной) нитри- и денитрификации при концентрации растворенного кислорода 0,3–0,6 мг/л (рис. 2.33).

Регулирование подачи кислорода должно выполняться с учетом показаний системы «Биобаланс», основанной на принципе прямого измерения ферментной активности.

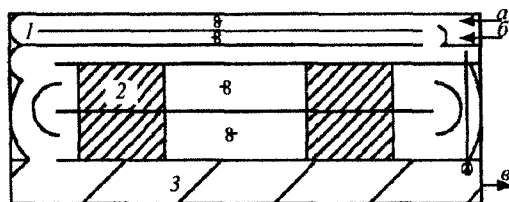


Рис. 2.32. Реконструкция аэротенка курьяновской станции аэрации по проекту фирмы «Кови» (Дания) с удалением азота и фосфора: 1 — зона без аэрации; 2 — зона переменной аэрации; 3 — зона постоянной аэрации; а — осветленная сточная вода; б — возвратный ил; в — иловая смесь на вторичные отстойники

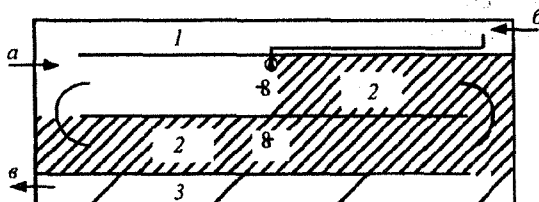


Рис. 2.33. Строящийся (второй) блок биологической очистки сточных вод новолюберецкой станции аэрации: 1 — зона без аэрации; 2 — зона переменной (регулируемой) аэрации; 3 — зона постоянной аэрации; а — возвратный ил; б — осветленная сточная вода; в — иловая смесь на вторичные отстойники

Ожидаемые концентрации загрязнений на выходе, мг/л:  $\text{ХПК} \leq 40$ ,  $\text{БПК}_5 \leq 3$ ,  $\text{N} - \text{NO}_3 \leq 8$ ,  $\text{N} - \text{NH}_4 \leq 1$ ,  $P_{\text{общ}} \leq 0,5$ . Для гарантированного снижения фосфора предусматривается дополнительно реагентное осаждение.

### 2.3. Обеззараживание сточных вод

В настоящее время наиболее широкое распространение в качестве сильного окислительного обеззараживающего реагента получил молекулярный хлор и его модификации (гипохлориты, хлористый аммоний). При хлорировании сточных вод из-за непостоянства их химического состава строгая дозировка хлора затруднена. Возможно либо неполное обеззараживание сточных вод (при недостатке хлора), либо попадание в водоем свободного хлора (при избытке). Для удаления избыточного хлора обычно используют реагенты-восстановители (бисульфит,  $\text{SO}_2$ ), однако в любом случае при

хлорировании сточных вод образуется «букет» хлорорганических токсичных соединений.

В качестве альтернативы хлору часто рассматривается озон. Как окислитель прямого действия озон обладает рядом особенностей. Он эффективно взаимодействует с фенолами, полиароматическими и олефиновыми алифатическими углеводородами. В качестве продуктов образуются органические кислоты, альдегиды и летоны, которые зачастую более токсичны, чем исходные вещества. При использовании озона на больших станциях водочистки возникают проблемы технического и экономического характера, потребности в больших площадях. Принципиальные трудности связаны с образованием токсичных побочных продуктов, низкой растворимостью озона в воде, его собственной высокой токсичностью, взрывоопасностью.

В последние годы все большее внимание уделяется использованию для целей обеззараживания сточных вод ультрафиолетового излучения – без применения химикатов. Тем самым устраняется необходимость в хранении, транспортировке или производстве опасных растворов и газов. Для достижения необходимого эффекта обеззараживания требуется всего несколько секунд (по сравнению с 15–30 мин при обработке хлором или озоном).

Для обеззараживания сточных вод УФ-облучением наиболее целесообразно использовать лампы низкого давления, которые работают при низкой температуре и трансформируют 40–50 % (до 70 %) электрической энергии для бактерицидного излучения. Для обеззараживания небольших количеств сточной жидкости (до 50 м<sup>3</sup>/ч) применяется напорная схема (рис. 2.34, а).

Облучение происходит в камере в виде трубы небольшого диаметра, куда коаксиально вмонтирован источник УФ-излучения, помещенный в защитный кварцевый чехол. Такие установки врезаются в магистральный трубопровод и рассчитываются на давление до 10 атм. В одной камере УФ-облучения монтируется 1–3 лампы, и ее пропускная способность не превышает 50 м<sup>3</sup>/ч. Увеличение производительности до 150 м<sup>3</sup>/ч и даже до 1000 м<sup>3</sup>/ч достигается параллельной установкой нескольких камер и увеличением количества ламп в одной камере с соответствующим снижением рабочего давления. Проблема больших объемов обрабатываемой воды снимается при использовании ненапорных водопогружных УФ-установок (рис. 2.34, б). В этом случае к установке надо подводить достаточное количество электрической энергии (из расчета примерно 100 кВт на каждые 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут обрабатываемой воды). Доза бактерицидного УФ-облучения устанавливается на месте и колеблется от 16 до 20 мВт·с/см<sup>2</sup> для доочисточной сточной воды.

В настоящее время в 35 зарубежных странах действует в общей сложности более 1000 водопогружных УФ-установок по обеззараживанию сточных вод с производительностью 10–30 тыс. м<sup>3</sup>/ч. По данным канадских ученых, средние многолетние затраты на обеззараживание сточных вод

с применением УФ-облучения намного ниже, чем при использовании хлора или озона. Среднегодовая стоимость обработки 1000 м<sup>3</sup> сточных вод за 15 лет эксплуатации, включая капитальные вложения и эксплуатационные расходы, приведена в табл. 2.10.

В России в связи с созданием надежных ламп УФ-облучения за последние несколько лет из стадии научных работ УФ-обеззараживание перешло в ранг промышленных технологий.

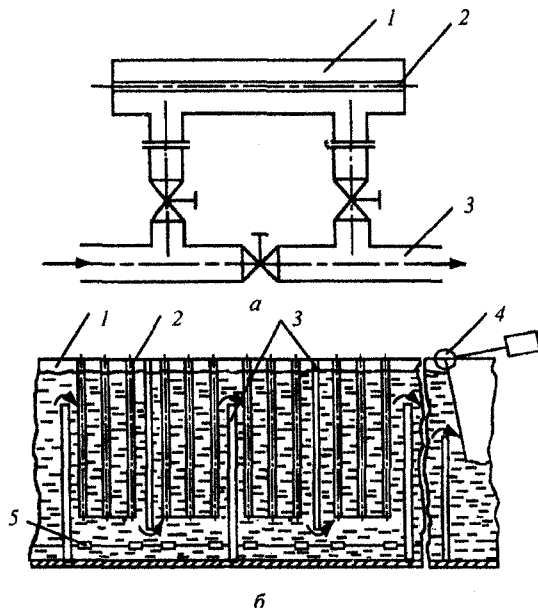


Рис. 2.34. Типы УФ-установок для обеззараживания воды: а – напорные установки (производительностью 3–50 м<sup>3</sup>/ч в расчете на индивидуальный источник УФ-излучения): 1 – камера УФ-облучения; 2 – источник УФ-излучения в кварцевом защитном кожухе; 3 – магистральный трубопровод; б – водопогружные (ненапорные) УФ-установки кассетно-модульного типа: 1 – лоток; 2 – кассеты (блоки) источников УФ-излучения в кварцевых защитных кожухах; 3 – перегородки для изменения направления движения воды в лотке; 4 – устройство для регулирования уровня воды в лотке; 5 – подача воздуха или воздушно-озоновой смеси в лоток с водой

Таблица 2.10

| Вид обработки                 | Стоимость, USD, при производительности, тыс. м <sup>3</sup> /сут |      |      |      |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                               | 4                                                                | 20   | 40   | 400  |
| Хлорирование                  | 8,2                                                              | 5    | 4,2  | 3,5  |
| Хлорирование + дехлорирование | 11,5                                                             | 7    | 5    | 4,5  |
| Озонирование                  | 42,5                                                             | 23,2 | 20,7 | 15,7 |
| УФ-обработка                  | 4,5                                                              | 3,5  | 3,2  | 3    |

Сегодня в России обеззараживание сточных вод ультрафиолетом производится более чем на 50 очистных сооружениях канализации. Крупнейший комплекс УФ-облучения действует на очистных сооружениях канализации автозаводского района города Тольятти. Комплекс имеет производительность до 290 тыс. м<sup>3</sup>/сут и очищает производственно-бытовые воды. УФ-комплекс расположен в отдельном здании и включает в себя 14 установок УДВ-1000/432. Каждая установка имеет 432 лампы низкого давления и номинальную пропускную способность 1000 м<sup>3</sup>/ч. Опыт эксплуатации показывает, что снижение колииндекса обеспечивается в среднем на 99,8 %; общего микробного числа 98,5 %. Во всех пробах после облучения в 100 мл не обнаружены колифаги и патогенные микроорганизмы.

Краткая характеристика оборудования для УФ-обработки очищенных сточных вод приведена в табл. 2.11. Оборудование производится в НПО ЛИТ (г. Москва).

Таблица 2.11

| Наименование | Производительность<br>не более, м <sup>3</sup> /ч | Электропотребление<br>не более, кВт |
|--------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
| УДВ-6/6      | 6                                                 | 0,5                                 |
| УДВ-250/144  | 250                                               | 12,8                                |
| УДВ-500/288  | 500                                               | 26,0                                |
| УДВ-1000/432 | 1000                                              | 38,0                                |

Установки комплектуются современными бактерицидными лампами низкого давления с ресурсом работы не менее 8760 ч (1 год), спад интенсивности облучения к концу этого срока не более 15 %. Рабочая температура ламп 40 °С, напряжение 120 В. Установки оснащены средствами автоматики и контроля.

## 2.4. Реконструкция сооружений по обработке осадков сточных вод

### 2.4.1. Реконструкция илоуплотнителей

Гравитационное уплотнение избыточного активного ила даже при нормальных нагрузках не может обеспечить снижение его влажности ниже 97 %, что обусловлено специфическим характером взаимодействия частиц ила с водой во время уплотнения. Активный ил имеет значительную

структурообразную способность, что приводит во время уплотнения к преобразованию свободной воды в коллоидносвязанную и быстрому затуханию процесса.

Интенсифицировать работу илоуплотнителей можно несколькими способами: коагуляцией, перемешиванием во время уплотнения, совместным уплотнением активного ила и сырого осадка, термогравитационным способом.

В качестве коагулянта можно использовать соли железа и алюминия, а также флокулянты. Наиболее эффективным из используемых реагентов считается хлорное железо, которое по сравнению с другими реагентами быстрее разрушает белковое соединение. Коагулирующими свойствами обладает и вода, полученная после обезвоживания в цехе механического обезвоживания осадка, предварительно обработанного флокулянтами. Так, на очистных сооружениях города Ижевска с помощью указанной технологии удалось снизить влажность избыточного активного ила до 92,1 % после 9,5 ч уплотнения в радиальном отстойнике.

Перемешивание с помощью стержневых мешалок или вертикальных решеток, закрепленных на иловом скребке радиальных илоуплотнителей, способствует укрупнению частичек ила и лучшему его уплотнению. Известна схема совместного уплотнения активного ила и осадка из первичных отстойников.

По этой схеме весь избыточный активный ил подается в преаэраторы, откуда вместе с водой поступает в первичные отстойники. Осадок из первичных отстойников с концентрацией 6–8 г/л подается в илоуплотнитель, сюда же подается промывная вода (очищенные сточные воды) в соотношении 1:1 к расходу осадка. Вместе с промывной водой в илоуплотнитель можно подавать раствор хлорного железа с расчетной дозой 0,5 % от массы сухого вещества осадка. После уплотнения на протяжении 3 ч влажность осадка снижается до 93–94 %.

Нагревание активного ила до температуры 90 °С приводит к изменению его физико-химических свойств и интенсивному уплотнению. После отстаивания в течение 30–60 мин влажность уплотненного ила составляет в среднем 96,5 %. Во время процесса нагревания часть ила всплывает, поэтому разработана конструкция термофлотационного илоуплотнителя.

Производственный опыт подтверждает эффективность и перспективность метода флотационного уплотнения активного ила, особенно при реконструкции действующих очистных сооружений. Наиболее эффективной считается схема напорной флотации с рециркуляцией рабочей жидкости. При переоборудовании существующих гравитационных илоуплотнителей вертикального и радиального типов во флотационные конструктивные решения могут быть аналогичны конструкциям флотационных биокоагуляторов.

## 2.4.2. Интенсификация работы аэробных стабилизаторов

При наличии аэробных стабилизаторов необходимо, прежде всего, определить фактические параметры их работы и оценить их отклонения от проектных и нормативных требований. Наиболее точным и надежным показателем, который характеризует ход и окончание процесса стабилизации, считается *дегидрогенезная активность* ила. Снижение дегидрогенезной активности практически до нуля есть показатель конца процесса аэробной стабилизации.

Экспериментально установлено, что скорость окисления легко гниющих компонентов осадка уменьшается до определенного уровня, после чего она остается практически постоянной. Это свидетельствует об окончании процесса стабилизации, дальнейшее продолжение аэрации приводит к лизису бактериальных клеток, уменьшению объема биомассы активного ила и увеличению его зольности, но уже не уменьшает количество легко гниющих компонентов, которые определяют его стабильность.

Обычно на перегруженных очистных сооружениях фактическая продолжительность пребывания осадка в аэробном стабилизаторе выявляется менее требуемой, поэтому первоочередной задачей является ускорение процесса стабилизации, чтобы, по возможности, обойтись без строительства дополнительных сооружений (стабилизаторов).

Радикальным способом сокращения продолжительности процесса стабилизации является повышение температуры стабилизируемого осадка. Считается, что повышение температуры на 10 °C в 2 раза сокращает требуемую продолжительность стабилизации.

Безусловно, перспективной следует считать технологию аэробной стабилизации активного ила и его смеси с сырым осадком с использованием эффекта разогревания осадка при интенсивной аэрации. Термофильная аэробная стабилизация, возможная при температуре 42–70 °C, обеспечивает значительное ускорение процесса с сокращением периода аэрации до 2 сут, обеззараживание осадка, улучшение его седиментационных свойств и уменьшение потребления кислорода. Интенсифицировать процесс стабилизации в зимний период можно путем подачи в стабилизатор части сточных вод после осветления их в первичных отстойниках.

Возможным способом уменьшения необходимого объема стабилизатора является повышение концентрации осадков, которые стабилизируются. Доза активного ила, поступающего в стабилизатор, может быть повышена до 20 г/л, а доза смеси ила и осадка до 25–27 г/л. При этом следует учитывать, что предварительное гравитационное уплотнение активного ила продолжительностью более 5–6 ч приводит к резкому ухудшению водоотдачи стабилизированных осадков. Поэтому при аэробной стабилизации высококон-

центрированных смесей необходимо использовать предварительное флотационное уплотнение избыточного активного ила или его смеси с сырым осадком до влажности 95–96 %.

В аэробных стабилизаторах может быть эффективно применена струйная система аэрации наряду с пневматической. При этом удельный расход кислорода надлежит принимать при стабилизации активного ила 0,25–0,3 кг, а сырого осадка из первичных отстойников 1–1,2 кг на 1 кг беззольного вещества.

На многих действующих очистных сооружениях аэробные стабилизаторы используются как реакторы-смесители. Их работу можно интенсифицировать, переводя в режим работы реактора-вытеснителя. Для этого объем стабилизатора надо разделить на коридоры с таким расчетом, чтобы отношение их общей длины к ширине было не менее 20, или разделить объем стабилизатора на секции (4 и более), как при секционировании отстойников.

Если уплотнители стабилизированного осадка расположены отдельно от стабилизаторов, рекомендуется осуществлять постоянную рециркуляцию осадка, как в системе аэротенк–вторичный отстойник. При этом коэффициент рециркуляции должен быть не менее одного. Такой технологический прием интенсифицирует процесс стабилизации и улучшает водоотдающие свойства стабилизированного осадка.

### **2.4.3. Анаэробное сбраживание осадка в метантенках**

На перегруженных очистных сооружениях, где количество сырого осадка и избыточного активного ила превышает расчетное, целью интенсификации и частичной реконструкции становится обычно уменьшение необходимой продолжительности сбраживания, достижение необходимой проектной степени распада органического вещества осадка. Основными способами интенсификации работы метантенков являются:

- повышение температуры сбраживания;
- улучшение сбраживания осадка;
- переход на непрерывную загрузку и выгрузку осадка;
- двух- и многоступенчатое сбраживание;
- повышение концентрации осадков, которые сбраживаются, и биомассы анаэробных микроорганизмов в метантенке.

#### *Смена температурного режима сбраживания*

Оптимальными температурами для анаэробного метанового сбраживания считаются: в психрофильной зоне 15–17 °С, мезофильной 33–35 °С, термофильной 53–55 °С. Радикальным способом увеличения производительности



метантенков является перевод с мезофильного на термофильный режим сбраживания, что дает возможность практически вдвое увеличить суточную дозу загрузки. Конечно, такой перевод приводит к существенному увеличению расхода теплоты на обогревание метантенков, которое в большинстве случаев не компенсируется увеличенным выходом газа при термофильном брожении. Исследования, проведенные в последние годы, показали, что процесс брожения эффективно осуществляется при температуре 40 °С. Возможность и целесообразность использования такого режима сбраживания может быть определена в каждом конкретном случае с учетом местных условий.

В отдельных регионах, особенно в южных районах России, при наличии достаточной площади для расширения очистных сооружений проблему сбраживания осадка можно решить, если целиком или частично перейти на сбраживание осадка в психрофильном режиме при температуре 15–20 °С. При этом связанное с этим увеличение емкостей установок компенсируется простотой их конструкции и легкостью эксплуатации. Такое сбраживание может осуществляться в открытых или закрытых емкостях предельно простой конструкции. В зарубежной практике используются земляные емкости с наклонными стенками и плоским дном, герметичность которых обеспечена пластмассовым пленочным покрытием. Характерной особенностью эксплуатации таких метантенков является постоянное сбережение корки осадка, который всплывает. Толщина корки достигает 1 м и в зимний период обеспечивает сбережение теплоты осадка, который бродит.

### *Перемешивание осадка при сбраживании*

Интенсификация процесса перемешивания может быть осуществлена путем увеличения производительности устройств для перемешивания (механические мешалки, насосы), оптимальным выбором мест отбора и подачи рециркулирующего в метантенках осадка. При наличии в метантенке гидроэлеватора для отбора верхних слоев осадка необходимо отрегулировать режим его работы и высотное положение.

Наиболее эффективным способом перемешивания осадка в метантенке является подача в его нижнюю зону биогаза, который образуется во время сбраживания. Одновременно с перемешиванием рециркуляция биогаза способствующе влияет на весь процесс сбраживания осадка. При подаче сжатого газа в метантенке повышается концентрация растворенной углекислоты – акцептора водорода, – которая снижает его парциальное давление и благодаря этому улучшает условия жизнедеятельности метановых бактерий. Вследствие этого увеличивается выход метана и может быть увеличена доза загрузки метантенка.

При перемешивании содержимого метантенка биогазом последний забирается с помощью компрессора с газопровода непосредственно за метан-

тенком и подается под давлением в нижнюю его часть через специальный барботер. Можно также применить газлифтный способ перемешивания осадка при сбраживании, когда биогаз вводится с помощью эжектора в напорный трубопровод рециркуляционного насоса (рис. 2.35).

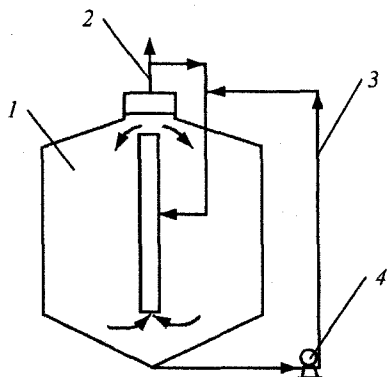


Рис. 2.35. Схема газлифтного перемешивания осадка в метантенке: 1 – корпус метантенка; 2 – газопровод; 3 – трубопровод осадка; 4 – циркуляционный насос

### *Непрерывная загрузка и выгрузка осадка*

Непрерывная загрузка осадка, особенно предварительно подогретого в теплообменниках, и его хорошее смешивание с массой осадка, который бродит, обеспечивает стабильный тепловой режим метантенка и возможность его работы с повышенными дозами загрузки. Одновременно обеспечивается равномерность газовыделения, однородность выгружающегося осадка. Положительный опыт непрерывного режима работы метантенков есть на курьяновской и люберецкой станциях аэрации Москвы.

### *Двух- и многоступенчатое сбраживание*

В основе такого сбраживания лежит распределение на станции интенсивного брожения с бурным выделением биогаза (I ступень) и стадия угасания процесса, на которой прекращается газовыделение, совершается расслоение осадка и отделение иловой воды (II ступень). Это приводит к уменьшению объема сброженного осадка за счет отделения иловой воды, увеличивается продолжительность дображивания осадка, что улучшает его способность отдавать воду.

II ступень процесса может реализовываться в открытых железобетонных резервуарах, которые не надо оборудовать перемешивающими и обогревающими устройствами, что значительно уменьшает капитальные затраты. Дображивание осуществляется в нескольких последовательно размещенных резервуарах (многоступенчатое сбраживание).

Роль метантенков II ступени могут выполнять радиальные или вертикальные илоотделители. При этом надо учитывать, что при длительном выделении биогаза в таких сооружениях начинается флотация части осадка с образованием на поверхности иловой воды слоя сфлоторованных включений. Сравнительно высокой оказывается концентрация взвешенных веществ в иловой воде, удаляемой из таких метантенков-уплотнителей (1,5–2 г/л). Для улучшения работы этих сооружений рекомендуется предварительно подщелачивать сбрасываемый осадок до pH 8,5–8,7. При этом практически прекращается газовыделение и флотация, происходит коагуляция примесей, улучшается влагоотдача сброженного осадка. Расход извести на подщелачивание не превышает 5 % CaO в расчете на сухое вещество осадка.

#### *Увеличение концентрации осадка*

Сравнительно новым способом интенсификации технологии анаэробного сбраживания является увеличение концентрации сухого вещества осадков за счет их предварительного сгущения перед подачей в метантенк до влажности 90–93 %, при которой нагрузку по сухому беззольному веществу можно увеличить до 4–5 кг/м<sup>3</sup>·сут. Для уплотнения можно применять все известные методы: *гравитационное уплотнение, флотацию, центрифугирование.*

Одна из возможных схем анаэробного сбраживания осадка разработана в украинском техническом университете водного хозяйства. Схема включает флотационное уплотнение сырого осадка или смеси его активным илом перед подачей в метантенки. Особенностью технологии является рециркуляция сброженного осадка и подача части его во флотационный уплотнитель, а также использование для флотации биогаза, образующегося в метантенке. Предложенная технология дает возможность увеличить степень распада органической части осадка на 10–15 %, увеличить дозу загрузки метантенка по беззольному веществу, обеспечить стабильность процесса благодаря повышению щелочности среды и концентрации биомассы в метантенке, уменьшить влажность сброженных осадков на 3,5–4 %, объем в 2–2,5 раза. При этом необходимый объем метантенков уменьшается на 40–50 %, площадь иловых площадок на 65–70 %.

#### *Фазовое разделение*

Научная концепция фазового разделения базируется на различных требованиях кислото- и метанообразующих микроорганизмов к условиям среды обитания и особенностях в их физиологических характеристиках.

При раздельном культивировании обеих групп бактерий и образовании в каждом реакторе оптимальных условий их развития повышается активность кислото- и метанообразующих бактерий. За непродолжительное вре-

мя в реакторе 1-й фазы можно достичь глубокого гидролиза органических веществ и высокой скорости образования кислот при полном исключении или очень незначительном преобразовании их в метан. В реакторе с метановой фазой (2-я фаза) за более продолжительный период можно достичь максимального преобразования легких жирных кислот в метан.

В результате многочисленных исследований рекомендована продолжительность пребывания осадка в реакторе 1-й фазы брожения не более 10 ч, продолжительность 2-й метановой фазы брожения не более 3 сут, что вдвое уменьшает продолжительность пребывания осадка в одноступенчатых метантенках, работающих в термофильном режиме.

Предлагаемая технология особенно хорошо работает при высоких концентрациях микроорганизмов в каждой фазе процесса, поэтому особенно эффективно использовать реакторы со специальной загрузкой для закрепления (иммобилизации) микроорганизмов, а также реакторы с восходящим потоком, в которых образуется взвешенный слой гранулоподобного осадка с высокой концентрацией метановых бактерий.

#### 2.4.4. Аэробно-анаэробные и анаэробно-аэробные процессы стабилизации осадков

В результате исследований различных вариантов двухфазных анаэробных процессов с разными температурными режимами, а также комбинаций анаэробно-аэробных процессов (рис. 2.36) выявлена значительная эффективность этих способов для интенсификации процессов стабилизации осадков.

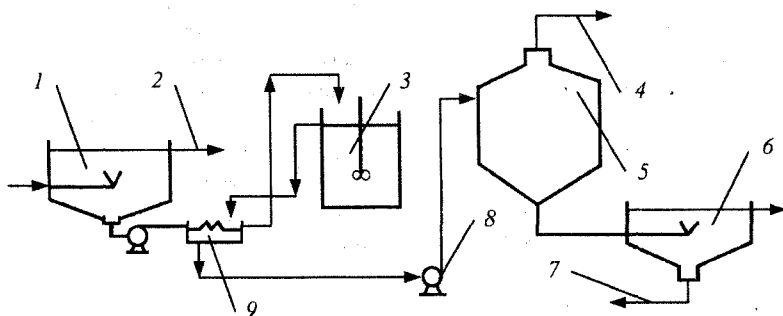


Рис. 2.36. Схема аэробно-анаэробной стабилизации: 1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – иловая вода; 3 – аэробный реактор; 4 – биогаз; 5 – анаэробный реактор; 6 – уплотнитель сброженного осадка; 7 – сброженный осадок; 8 – насос; 9 – теплообменник

Преимущества состоят в достижении необходимой степени стабилизации и обеззараживания осадков, улучшении свойств отдавать влагу, уменьшении объема сооружений, получении биогаза. Эти показатели

превышают недостатки технологии: высокую трудоемкость и большие эксплуатационные расходы по сравнению с одноступенчатым сбраживанием.

По приведенной технологии предварительная аэробная обработка осадка на протяжении 0,5–2 сут перед анаэробным сбраживанием снижает концентрацию органических веществ и тем самым нагрузку на 2-ю анаэробную ступень стабилизации. В результате метаболической активности аэробных микроорганизмов происходит выделение значительного количества тепловой энергии, что приводит к повышению температуры в аэробном реакторе. Считается, что при распаде 1 г органического вещества (по ХПК) выделяется 15 кДж энергии. Снижение ХПК сырого осадка на 11,5 % при исходной ХПК 8–10 г/л достаточно для повышения температуры за период стабилизации 1–2 сут до 60 °С. Для поддержания температуры аэробный реактор должен быть закрытым и иметь соответствующую теплоизоляцию. Рекомендуемые параметры работы приведенной схемы представлены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

| Параметр                                                                                           | I аэробная ступень | II анаэробная ступень |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Продолжительность, сут                                                                             | 0,5                | 8                     |
| Нагрузка по органическому веществу, кг/м <sup>3</sup> ·сут                                         | 60                 | 3,5                   |
| Температура, °С                                                                                    | 55                 | 35                    |
| Расход энергии, Вт/м <sup>3</sup>                                                                  | 120                | 5                     |
| Снижение концентрации органических веществ, %                                                      | 8                  | 35                    |
| Количество тепла, образующееся на аэробной стадии, кДж на 1 кг распавшегося органического вещества | 50000              | –                     |
| Выход биогаза, м <sup>3</sup> на 1 кг распавшегося органического вещества                          | –                  | 0,3                   |

Для подачи в аэробный реактор воздуха рекомендуется применять механические, пневмомеханические и струйные аэраторы. Удовлетворительные результаты по обеззараживанию осадков и улучшению способности отдавать воду обеспечивает и анаэробно-аэробная технология (рис. 2.37).

В реакторе I ступени на протяжении 3–20 сут обеспечивается анаэробный мезофильный процесс, в реакторе II ступени – дальнейшее аэробное разложение органического вещества с выделением тепла и саморазогреванием до 50 °С. Аэробная стабилизация осуществляется на протяжении 3–4 сут.

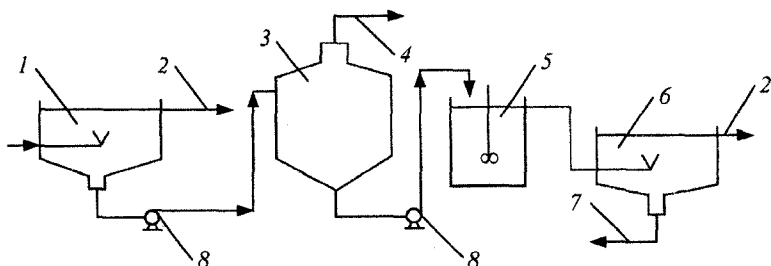


Рис. 2.37. Схема анаэробно-аэробной стабилизации осадка: 1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – иловая вода; 3 – анаэробный реактор; 4 – биогаз; 5 – аэробный реактор; 6 – уплотнитель сброженного осадка; 7 – сброженный осадок; 8 – насос

## 2.4.5. Реконструкция сооружений по обезвоживанию осадков

*Интенсификация работы сооружений по механическому обезвоживанию осадков*

Одним из направлений интенсификации работы цехов механического обезвоживания является применение ленточных сгустителей для начального этапа обезвоживания. Данные аппараты используют принцип удаления воды из сфлуккулированного осадка под действием естественной силы гравитации. Они дешевле и проще в эксплуатации, чем центрифуги или ленточные фильтр-прессы. При реконструкции цехов мехобезвоживания в традиционных ленточных фильтр-прессах в начале процесса выделяется зона, в которой значительная часть свободной воды, содержащейся в осадке, удаляется под действием силы тяжести, что позволяет интенсифицировать работу аппарата. Ленточный сгуститель может использоваться и как самостоятельный аппарат для сгушения активного ила.

Используя сгуститель, важно учитывать водоотводящие свойства подаваемого на них осадка. Для активного ила водоотдающие свойства зависят от его естественной флокуляции, связанной с концентрацией в иле биофлокулянтов. Наилучшие водоотдающие свойства могут быть достигнуты либо при определенном сочетании возраста ила и времени аэрации непосредственно в аэротенке, либо при необходимой аэробной обработке избыточного ила вне аэротенка. В дополнительной обработке после аэротенков нуждается ил от средне- и высоконагружаемых процессов. При низконагружаемых процессах (нитри- и денитрификации) ил может быть обработан без дополнительной подготовки. При оптимизации аэробного кондиционирования за счет образования биофлокулянта доза внесения искусственных полимерных флокулянтов может быть снижена в 1,5–2 раза. Учитывая высокую стоим-

мость полимерных флокулянтов, внедрение технологии с оптимальной подготовкой ила к сгущению экономически выгодно, т.к. имеет короткий срок окупаемости.

Для небольших очистных сооружений (при производительности 1000–5000 м<sup>3</sup>/сут) активный ил может быть сгущен до влажности 92–94 %. Если применяются сгустители, объем избыточного активного ила уменьшается с 30–50 до 3–5 м<sup>3</sup>/сут. Площадь иловых площадок может быть значительно сокращена, в частности можно перейти к устройству крытых карт. При этом значительно упрощается эксплуатация и происходит разгрузка очистных сооружений по оборотным загрязнениям, поступающим с дренажной водой.

Для крупных очистных станций возможна реконструкция существующих илоуплотнителей для аэробной предварительной подготовки ила, его краткого уплотнения, а в некоторых случаях и выделения буферной емкости для сбора сгущенного ила.

Ленточные сгустители рекомендуется применять на станциях очистки, использующих современные технологии очистки воды с биологическим удалением биогенных элементов и не имеющих первичных отстойников.

Если на станциях применяется первичное отстаивание, то при переходе к технологии с удалением биогенных элементов рационально разделить потоки избыточного ила и осадка. При этом активный ил подается на кратковременное уплотнение, а затем на ленточные сгустители. Сырой осадок рационально подвергнуть анаэробному сбраживанию.

Возможна также схема со смешиванием избыточного активного ила с анаэробно сброженным осадком непосредственно перед сгустителем. В таком случае можно добиться сгущения смеси на сгустителе до 92–93 %, что позволит значительно повысить производительность оборудования последующего механического обезвоживания. Наиболее рациональна комбинация сгустителя с ленточными или камерными фильтр-прессами.

#### *Реконструкция иловых площадок*

Основной причиной неудовлетворительной работы иловых площадок является некачественная предварительная стабилизация осадков. Подача нестабильного осадка приводит к его загниванию на иловых площадках, что еще более ухудшает влагоотдачу и приводит к образованию слоя загрязнений, который всплывает на поверхность. Этот слой мешает удалению воды и усложняет испарение влаги. Плохая водоотдача хорошо стабилизированных осадков может быть следствием нарушения режимов стабилизации или неправильного выбора самой технологии стабилизации. Прямая зависимость между значением удельного сопротивления осадка и эффективностью работы иловых площадок подтверждается опытом эксплуатации многих очистных станций. Со снижением удельного сопротивления осадка улучшаются про-

цессы фильтрации жидкости через слой осадка и удаление ее через дренаж, повышается эффективность удаления воды с поверхности осадка (декантация), увеличивается скорость испарения влаги со свободной поверхности осадка. Таким образом, улучшение влагоотдачи может быть достигнуто при использовании следующих методов: *реагентной, тепловой и радиационной обработки, замораживания и размораживания, наложения внешнего электромагнитного поля, введения присадок.*

Одним из способов улучшения влагоотдачи уплотненного аэробно стабилизированного осадка является его аэрация на протяжении 0,5–1,5 ч перед подачей на иловые площадки. Аэрация с интенсивностью 1–2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч восстанавливает функциональные возможности аэробных бактерий стабилизированного осадка, предотвращает развитие анаэробных процессов в период его пребывания на иловой площадке. В этом случае производительность иловых площадок увеличивается в 1,4–2 раза.

Возможна флотационная обработка осадков перед обезвоживанием, которую рекомендуется осуществлять по схеме флотации с рециркуляцией рабочей жидкости при коэффициенте рециркуляции 4–6 и давлении насыщения рабочего раствора воздухом 0,3–0,4 МПа.

Работу иловых площадок можно интенсифицировать предварительным промыванием очищенной водой плохо фильтруемых осадков. При этом достигается увеличение нагрузки на иловые площадки на 70 %. Технология промывания анаэробно сброженных осадков может быть такой же, как и при подготовке их к механическому обезвоживанию.

Применяя технологию замораживания–оттаивания необходимо соответствующим образом организовать эксплуатацию иловых площадок. В зимний период подача осадка на иловые площадки должна обеспечивать послойное его намораживание на картах, так, чтобы весь слой накопленного за зиму осадка был хорошо проморожен. В случае сильных снегопадов необходимо удалять снег с поверхности намороженного осадка, что ускорит его промерзание на всю глубину.

В процессе весеннего оттаивания осадка на поверхности иловых площадок образуется слой относительно чистой воды (около 80 % объема намороженного осадка), которая должна быть удалена за границу площадки как можно быстрее. При длительном контакте осадка с талой водой в нем увеличивается количество связанной воды, что ухудшает его дальнейшее подсыхание. Для быстрого и равномерного удаления влаги иловые площадки должны иметь водоотводные колодцы с водосливом переменного уровня («монахи»), которые устраивают по периметру карт на расстоянии 30–50 м один от другого.

При больших значениях удельного сопротивления осадков, подаваемых на иловые площадки, основная часть воды удаляется выпариванием. Скорость выпаривания с открытой поверхности будет тем выше, чем тоньше



слой напуска. Чем хуже фильтруются осадки, тем быстрее происходит кольматация дренирующего основания вследствие большого содержания в таких осадках тонкодисперсных и коллоидных частиц. При высокой способности осадков отдавать влагу происходит фильтрация через слой осадка, который откладывается на основании, а основание играет роль поддерживающей и водоотводящей среды. При многократных напусках осадков на иловые карты обезвоживание происходит в основном за счет испарения. С учетом этого целесообразно, особенно летом, подсушивать такие слои осадка. Чтобы ускорить процесс естественной сушки осадка в теплое время года, целесообразно его рыхление.

Для поддержания высокой пористости основания при каждом удалении обезвоженного осадка рекомендуется снимать вместе с осадком верхний слой песка дренирующего основания. Перед новой подачей осадка на иловую площадку основание обновляется путем досыпания тонкого слоя песка.

Одно из направлений реконструкции иловых площадок – это усовершенствование дренажных систем. Новые конструкции иловых площадок имеют обычно дренаж вертикального типа, обеспечивающий удаление воды фильтрацией со всего слоя осадка, который находится на площадке.

Иловая площадка на водонепроницаемом основании имеет вертикальный дренаж, состоящий из двух стенок с отверстиями, и размещенный между ними фильтрующий слой с щебнем и гравием. Боковые стенки могут быть выполнены из перфорированных плит или блоков, пористого бетона. В качестве дренажных элементов используются простые плиты, которые устанавливают наклонно на поддерживающий каркас. Пространство между плитами используется для отведения профильтрованной воды к сборному желобу. В качестве фильтрующих элементов вертикального и горизонтального дренажей можно использовать фильтростеклопластиковые трубы, которые применяют в водозаборных скважинах. Вертикальные фильтрующие элементы из таких труб дополнительно покрывают фильтрующим материалом и присоединяют к трубопроводам горизонтальной дренажной системы. Горизонтальный дренаж состоит из фильтра стеклопластиковой трубы, отсортированной гравийной загрузки и перфорированного пластикового воздуховода, используемого для периодической продувки дренажа, и слоя осадка. После продувок при повторных напусках осадка скорость фильтрации остается довольно высокой.

При эксплуатации подобных иловых площадок особое внимание надо обращать на режим напуска осадка. Размеры карт должны быть такими, чтобы их заполнение происходило не более чем за сутки. При подаче аэробно стабилизированного активного ила с влажностью 98 % высота напуска может быть 0,8–1 м. В этом случае большая часть влаги отводится через вертикальный дренаж. При подаче анаэробно сброженного осадка высота

слоя напуска рекомендуется 0,4–0,8 м при первом напуске и 0,05–0,1 м при последующих.

Нагрузка на иловые площадки, оборудованные системами вертикального и горизонтального дренажа, может составлять 5–5,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год. При предварительной обработке осадка катионным флокулянтom с дозой 0,05–0,1 % нагрузка на иловые площадки может составлять до 7–7,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год.

## Контрольные вопросы

1. Какова перспектива использования погружных насосов в канализационных насосных станциях?
2. Назовите главные причины низкой эффективности работы действующих сооружений сточных вод.
3. Как выполняется анализ работы действующих очистных канализационных сооружений?
4. Что такое регулируемые канализационные системы?
5. В чем выражается реконструкция механической очистки сточных вод?
6. Какими путями интенсифицируется работа аэротенков и биофильтров?
7. Расскажите о сооружениях по доочистке сточных вод.
8. Объясните, почему повышенное внимание уделяется удалению из сточных вод биогенных элементов.
9. Назовите главные направления реконструкции сооружений по обработке осадков сточных вод.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном учебном пособии изложены основные принципы и технологические приемы реконструкции систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Поскольку прогресс в этой области развивается очень быстро, то приведенный материал нельзя рассматривать как исчерпывающий.

Наибольшее внимание уделено приемам реконструкции скважинных водозаборов подземных вод, позволяющих получить наиболее чистые природные воды для целей водоснабжения.

При реконструкции водопроводных насосных станций наиболее прогрессивным решением является использование погружных насосов и насосов с регулируемым приводом. Должное внимание уделено методам восстановления пропускной способности водопроводных труб и максимальному снижению их влияния на качество питьевой воды.

Описаны новые схемы очистки природных вод с включением окислительно-сорбционных технологий с применением более современных окислителей (озон, УФ-облучение) для окисления органических соединений и обеззараживания очищенной воды.

Реконструкция систем водоотведения выполняется в основном путем интенсификации работы сооружений механической и биологической очистки сточных вод. С одной стороны, это обеспечивает задержание наибольшего количества загрязнений, с другой – желательно получить наименьшее количество осадков.

Обработка и утилизация осадков сточных вод представляет сложную и дорогостоящую проблему, для решения которой прилагается немало усилий. Среди используемых приемов можно отметить более активную аэрацию сточных вод, применение загрузки в аэротенках для увеличения дозы активного ила, расширение набора сооружений для доочистки сточных вод за счет фильтров с плавающей загрузкой и биореакторов. Представлены успешные попытки разработки технологий для удаления из сточных вод азота и фосфора.

Автор надеется, что успешное усвоение материала, приведенного в пособии и другой научно-технической литературе, позволит молодым специалистам уверенно и грамотно принимать необходимые организационные, технологические и проектные решения с целью получения доброкачественной питьевой воды и глубокой очистки сточных вод путем реконструкции существующих сооружений водоснабжения и водоотведения.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения: Справ. / Б.Н. Репин, С.Е. Запорожец, В.Н. Ереснов и др.; Под ред. Б.Н. Репина. – М.: Высш. шк., 1995. – 431 с.
2. Журба М.С., Говорова Ж.М. Подготовка питьевых вод в условиях повышенной антропогенной нагрузки на водоисточники // Исследования проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов: Сб. науч. трудов / Под. ред. акад. С.В. Яковлева. – Казань: КГАСА, 1999. – 172 с.
3. Лезнов Б.С. Экономия электрорознергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
4. Мельцер В.З. Фильтровальные сооружения в коммунальном водоснабжении. – М.: Стройиздат, 1995. – 176 с.
5. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга / Под общ. ред. Ф.В. Кармазинова. – СПб: Стройиздат, 1999. – 424 с.
6. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: НУМЦ Госкомэкологии России, 1999. – 338 с.
7. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения») / НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Панфилова. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 128 с.
8. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: Справ. пособие к СНиП / Всесоюзный комплекс НИИ конструкторско-технологический ин-т водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.
9. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / М.В. Воронов, В.П. Саломеев, А.Л. Ивчатов и др.; Под ред. С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
10. Рекомендации по проектированию систем водоснабжения с регулирующими емкостями. – М.: МЖКХ РСФСР, АКХ, 1980. – 71 с.
11. Реконструкция систем водоснабжения: Расчет и проектирование / П.Д. Хоружий, М.В. Шарков. – Киев: Будивельник, 1983. – 144 с.
12. Синев О.П. Интенсификация работы и реконструкция канализационных очистных сооружений: Учеб. пособие. – Киев: ИСИО, 1994. – 136 с.
13. Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях / Департамент жилищно-коммунального хозяйства Госстроя России; НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды. – М., 1997. – С. 112.
14. Татура А.Е., Сивак В.М. Снижение металлоемкости подземных коммуникаций. – Киев: Будивельник, 1991. – 144 с.
15. Тугай А.М., Прокопчук И.Т. Водоснабжение из подземных источников: Справ. – Киев: Урожай, 1990. – 264 с.
16. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.

*Учебное издание*

**Александр Евгеньевич Татура**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

*Учебное пособие*

Редактор *Н.К. Швиндт*

Технический редактор *С.В. Звягинцова*

Верстка *Н.В. Паклиной*

Обработка рисунков *Н.К. Швиндт*

Корректор *И.В. Ганеева*

Директор издательства *Г.А. Осипова*

Подписано в печать 06.11.03. Формат 60×84/16. Бумага офсетная

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 11,46

Тираж 200 экз. Заказ № 309

Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ

Издательство и типография Ижевского государственного технического  
университета. 426069, Ижевск, Студенческая, 7

ISBN 5-7526-0165-7



9 785752 601651 >