

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

М.А. Сафронов, Т.В. Малютина

# **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Курс лекций

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 628-048.37(075.8)  
ББК 38.761-09я73  
С21

Рецензенты: кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Техносферная  
безопасность» М.Я. Кордон (ПГУ);  
кандидат технических наук, доцент  
Е.А. Титов (ПГУАС)

**Сафронов М.А.**

С21 Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и  
водоотведения: курс лекций / М.А. Сафронов, Т.В. Малютин. –  
Пенза: ПГУАС, 2016. – 120 с.

Изложены основные вопросы по реконструкции систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены способы производства работ при реконструкции водозаборных сооружений, водопроводных и канализационных сетей, насосных станций, сооружений по очистке воды для питьевых целей и очистки сточных вод. Освещены прогрессивные технологии интенсификации систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» и предназначено для использования студентами дневной и заочной форм обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» при изучении курса «Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016  
© Сафронов М.А., Малютин Т.В., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» является подготовка бакалавров, умеющих разрабатывать проекты реконструкции инженерных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения населенных мест и промышленных предприятий, осуществлять строительные работы по реконструкции и интенсификации работы инженерных сетей и сооружений, рационально использовать водные ресурсы при реновации систем водоснабжения и водоотведения

Данное учебное пособие предназначено для использования студентами дневной и заочной форм обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» при изучении курса «Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения».

Настоящее учебное пособие состоит из конспектов 12 лекций, посвященных изучению основных принципов реконструкции и интенсификации работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, таких, как водозаборные сооружения из поверхностных и подземных источников, водопроводные и канализационные сети, насосные станции, очистные сооружения, сооружения по обработке и утилизации осадков.

В конце лекций, охватывающих тот или иной раздел дисциплины, приведены контрольные вопросы и задания для проверки и закрепления полученных знаний.

Учебное пособие направлено на формирование у студентов профессиональных компетенций, таких, как:

знание правил и технологии монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию конструкций, инженерных систем и оборудования строительных объектов, образцов продукции, выпускаемой предприятием;

владение методами опытной проверки оборудования и средств технологического обеспечения;

владение методами мониторинга и оценки технического состояния и остаточного ресурса строительных объектов, оборудования;

способность организовать профилактические осмотры и текущий ремонт, приемку и освоение вводимого оборудования, составлять заявки на оборудование и запасные части, готовить техническую документацию и инструкции по эксплуатации и ремонту оборудования.

## ВВЕДЕНИЕ

Системы водоснабжения и водоотведения населенных мест предназначены для обеспечения населения питьевой водой, а также для водоотведения сточных вод и последующей их очистки.

Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения напрямую связана с системами жизнеобеспечения мегаполисов, крупных, средних и небольших городов и поселков Российской Федерации, а также с экологической обстановкой водных объектов и водоёмов. Вода необходима как для питьевого, так и для промышленного водоснабжения; поэтому сохранение водных источников от загрязнения и истощения путем реконструкции очистных сооружений с минимизацией капитальных вложений является в настоящее время весьма важной и актуальной задачей.

Осуществление реконструкции и технического перевооружения сооружений по очистке природных и сточных вод – одна из наиболее сложных инженерных задач, направленная на улучшение экологической обстановки в различных регионах страны и охрану водоемов от загрязнения и истощения. Вопросы реконструкции следует решать одновременно с внедрением современных технологических приемов и процессов водоснабжения и водоотведения, обеспечивающих не только увеличение пропускной способности, но и, главное, эффективности и надежности систем и сооружений.

При этом необходимо иметь в виду экономию не только капитальных затрат при строительстве, но и энергетических и трудовых ресурсов в процессе эксплуатации, а также рациональное использование земельных площадей.

За последние годы накоплены значительный материал и опыт, позволяющие применять новые методы реконструкции систем и сооружений, основанных на современном научно-техническом уровне. Сооружения, имеющиеся на станциях очистки природных сточных вод, при использовании современных технологий позволяют решать проблемы по интенсификации очистки и при минимальных капитальных вложениях делают возможным поддерживать качество очищенных вод на уровне, близком или отвечающем современным требованиям.

В настоящем пособии основное внимание уделено системам и сооружениям, наиболее широко распространенным в коммунальном водоснабжении и водоотведении.

# Лекция №1

## НАПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

1. Обзор развития систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.
2. Необходимость реконструкции, ее техническая и экономическая целесообразность.
3. Направления реконструкции систем водоснабжения и водоотведения в Российской Федерации.

### 1. Обзор развития систем и сооружений водоснабжения и водоотведения

Из-за значительной концентрации населения в крупных городах и необходимости повышения требований к защите окружающей среды, и в первую очередь к охране гидросферы, значительно возросли требования к качеству строящихся и эксплуатируемых систем водоснабжения и водоотведения. Бурное строительство с конца 50 гг. XX в. городов и населенных мест в нашей стране привело к интенсивному развитию систем жизнеобеспечения: водопроводных станций, водопроводных и водоотводящих (канализационных) сетей и сооружений очистки сточных вод. В настоящее время в стране водопроводными сетями на коммунально-бытовые нужды населения подается более 17 млрд м<sup>3</sup>/год воды. За период эксплуатации основные сооружения и трубопроводные коммуникации пришли к моральному и физическому износу.

Новые экономические отношения, принятие Гражданского и Водного кодексов Российской Федерации, новое законодательство в области охраны окружающей среды и природопользования создали благоприятные условия для обеспечения потребителей качественной питьевой водой как одного из факторов санитарно-эпидемиологического благополучия населения; охраны окружающей среды от загрязнения недостаточно очищенными сточными водами; повышения эффективности, надежности работы систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации; улучшения организации управления и эксплуатации этих систем.

Появилось много новых технологий водоподготовки и очистки сточных вод, позволяющих получать очищенную воду более интенсивными методами, чем раньше. Одновременно повысились требования к надежности сооружений и трубопроводов. Несовершенство проектирования и технологии строительства очистных сооружений и сетей водоснабжения и водоотведения, низкое качество используемых строительных материалов, строительство без учета влияния реального состава вод приводят к

преждевременному разрушению инженерных конструкций и ухудшению их эксплуатационных характеристик.

Больше внимания стало уделяться реконструкции существующих сооружений на базе современных достижений как отечественной, так и зарубежной науки и техники. Такие реконструированные сооружения могут еще в течение одного-двух десятков лет удовлетворять современным требованиям.

Для сохранения работоспособности инженерных систем при нормативном сроке службы трубопроводов водоснабжения и водоотведения 25–30 лет требуется высокая степень технической подготовленности технического персонала при эксплуатации, реконструкции трубопроводов и интенсификации работы очистных сооружений.

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).

Так, генеральной схемой развития канализации города Москвы поставлена задача осуществить реконструкцию всех сооружений биологической очистки с внедрением технологий удаления азота и фосфора. В Санкт-Петербурге, где водоотведение помимо общих правил водопользования связано еще и требованиями Конвенции по защите вод Балтийского моря (Хельсинская комиссия), предполагалось за счет реконструкции очистных сооружений снизить в очищенной воде 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.

## 2. Необходимость реконструкции, ее техническая и экономическая целесообразность

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 включена в проект, и удовлетворяют требованиям потребителя. Но затем в силу изменившихся внешних и внутренних условий системы водоснабже-

ния и водоотведения не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям. Это происходит, потому что со временем изменяются нормативы (ГОСТ, СНиП и др.), условия работы систем и сооружений 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 происходят 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.

Т а б л и ц а 1

Сети водоснабжения и водоотведения [9]

| Сети                 | Протяженность,<br>тыс. км | Сети, требующие замены |    |
|----------------------|---------------------------|------------------------|----|
|                      |                           | тыс. км                | %  |
| <b>Водоснабжение</b> |                           |                        |    |
| Водоводы             | 139                       | 20                     | 14 |
| Уличные сети         | 320                       | 100                    | 31 |
| Внутридворовые сети  | 64                        | 38                     | 59 |
| <i>Всего</i>         | 523                       | 158                    | 30 |
| <b>Водоотведение</b> |                           |                        |    |
| Коллекторы           | 42                        | 6                      | 14 |
| Уличные сети         | 73                        | 19                     | 26 |
| Внутридомовые сети   | 48                        | 33                     | 68 |
| <i>Всего</i>         | 163                       | 58                     | 36 |

Данные табл. 1 свидетельствуют о необходимости срочного наращивания темпов восстановительных работ на трубопроводных сетях водоснабжения и водоотведения. Длительно эксплуатируемые трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения в основном выполнены из традиционных материалов. Известно, что основное преимущество стальных труб заключается в их прочности. До настоящего времени они незаменимы для высоконапорных сетей. Однако в низконапорных системах водоснабжения и водоотведения прочностные свойства стальных трубопроводов используются практически всего на 10%. Как показывает практика, наиболее эффективны для строительства подобных систем трубы из пластмасс.

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 и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Оперативное и плановое восстановление систем и сооружений является актуальной задачей любого современного города.

Износ основных фондов систем водоотведения составляет более 53%, что не может гарантировать достаточную защиту водоемов, в том числе и водоемов рыбохозяйственного значения. Особое опасение вызывает состояние самотечных водоотводящих сетей, насосных станций и напорных водоводов, износ отдельных систем и сооружений составляет более 63%.

Более чем 50% систем водоотведения очистных сооружений практически не функционируют, а остальные работают неудовлетворительно.

Реконструкция систем и сооружений водоотведения и очистки сточных вод напрямую связана с системами жизнеобеспечения мегаполисов, крупных, средних и небольших городов и поселков Российской Федерации, а также с экологической обстановкой водных объектов и водоёмов. Вода необходима как для питьевого, так и для промышленного водоснабжения, поэтому сохранение водных источников от загрязнения и истощения путем реконструкции очистных сооружений водоотведения с минимизацией капитальных вложений является в настоящее время весьма важной и актуальной задачей.

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.

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

### 3. Направления реконструкции систем водоснабжения и водоотведения в Российской Федерации

Основными направлениями реконструкции в системах водоснабжения и водоотведения 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.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о развитии систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.
2. В каких случаях возникает необходимость реконструкции систем и сооружений водоснабжения и водоотведения?
3. Каково состояние систем и сооружений водоснабжения и водоотведения в нашей стране?
4. Назовите основные направления реконструкции систем водоснабжения и водоотведения.

## Лекция №2

# МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Реконструкция водозаборных сооружений из подземных источников.
2. Реконструкция водозаборных сооружений из поверхностных источников.

### 1. Реконструкция водозаборных сооружений из подземных источников

В настоящее время наиболее распространенными сооружениями 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 возникновения необходимости 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 физического 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 может недодавать 20-36 % первоначального количества воды.

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

Причиной пескования скважин могут быть: неправильный выбор сетки или проволоки фильтра; неправильная установка фильтра, порыв его рабочей части; износ фильтра, вызванный высокими скоростями движения воды в нем; разрушение рабочей поверхности фильтра химической или электрохимической коррозией; износ сальников, обсадных труб и образование 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 этого 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.

Наиболее распространенными методами диагностики и обследования скважин являются:

#### *1. Применение телекамер 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. Для обследования глубоких скважин, шахтных колодцев, водопроводных сетей, канализационных труб и коллекторов как в осевом, так и в радиальном направлении применяют специальную телевизионную установку (рис. 1).

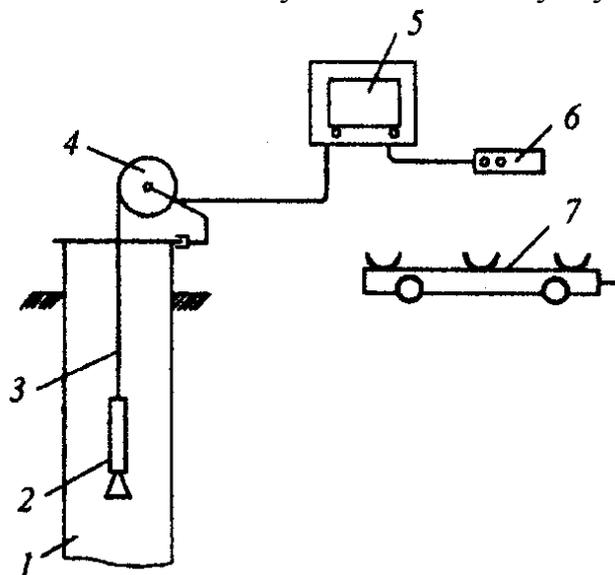


Рис. 1. Схема телевизионной установки:  
1 – скважина, подлежащая обследованию; 2 – телевизионная камера;  
3 – коаксиальный кабель; 4 – спусковое устройство с барабаном для укладки кабеля; 5 – наблюдательный стенд с монитором; 6 – записывающее устройство;  
7 – телевизионный трактор для обследования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

## *2. 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.

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

## *3. 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.

## *4. Расходомерия скважин*

Для диагностики состояния скважин применяют прибор, 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 водопрпускной 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.

Для восстановления дебита скважины осуществляются следующие мероприятия:

### *1. Механическая очистка поверхности фильтра*

Наиболее простым приспособлением для очистки фильтра от осадков является механический ерш (рис. 2, 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. 2, б) или ерш с улавливателем (рис. 2, в), обеспечивающим одновременно с очисткой сбор и накопление удаляемых осадков.

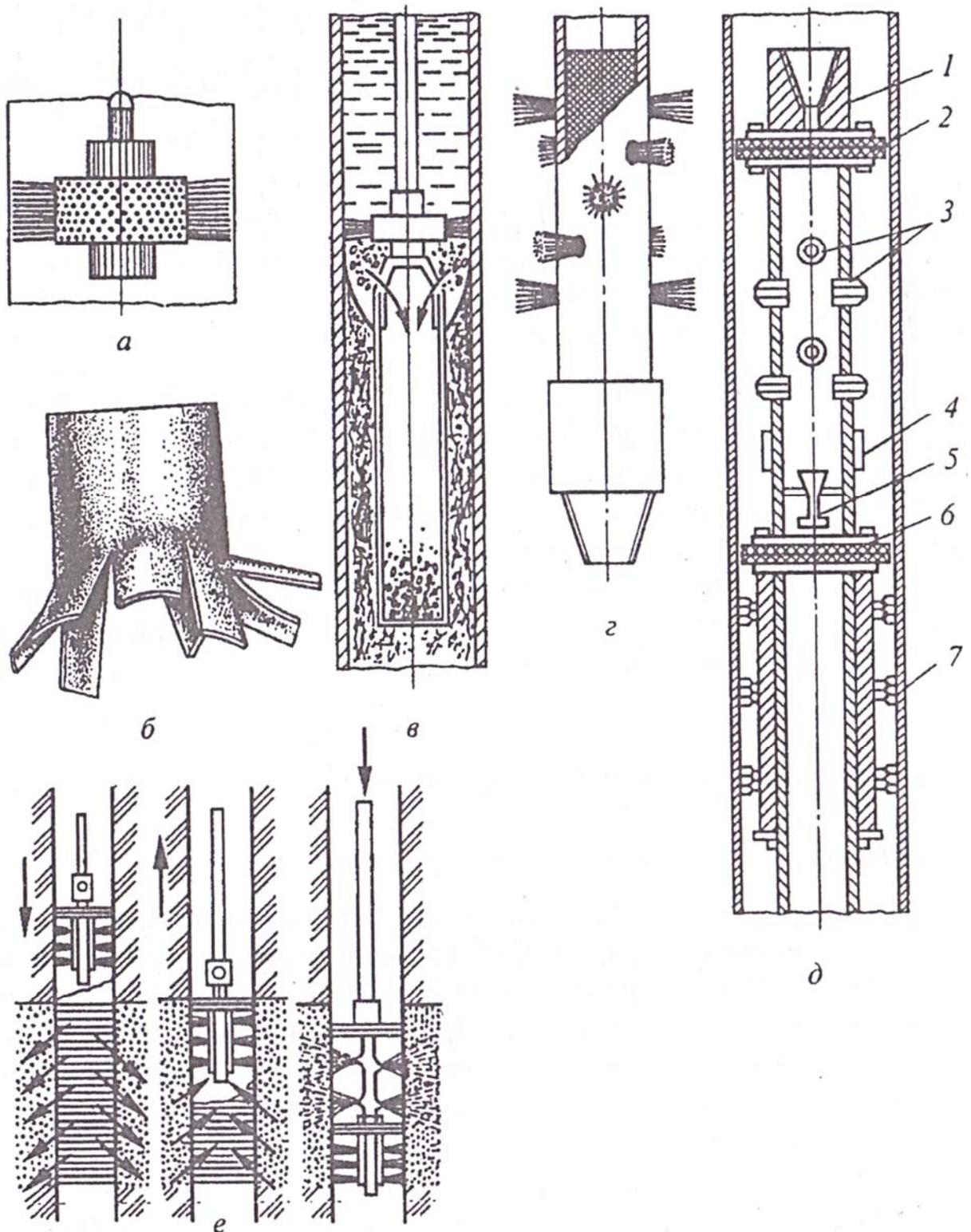


Рис. 2. Приспособления для очистки фильтров скважин от отложений:  
 а – механический ерш; б – скребок; в – ерш с улавливателем; г – ерш со спиральной намоткой проволоки; д – гидроерш; е – схема работы гидроерша;  
 1 – муфта бурильных труб; 2, 6 – поршни; 3 – промывочные насадки; 4 – муфта;  
 5 – обратный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

Конструкция ерша со спиральной намоткой показана на рис. 2, *г*. Спиральная намотка из нержавеющей проволоки обеспечивает вращательное движение ерша и позволяет качественнее производить чистку фильтра.

Для разглинизации скважины и восстановления пропускной способности фильтра после кольматации фильтрующей поверхности солевыми отложениями и механическими примесями применяют гидроерш (рис. 2, *е*). Фильтр рекомендуется промывать сверху вниз.

### *2. Электрогидравлическая обработка фильтров*

Этот метод основан на использовании электрического разряда высокого напряжения (около 50000 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 рассчитывается по формуле, мин,

$$t_{\text{обр}} = TL_{\text{ср}}, \quad (1)$$

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:

$$L = 1,6D, \quad (2)$$

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.

### *3. Свабирование скважин*

Для восстановления производительности скважин можно 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. 3).

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

#### 4. Обработка скважин сухим льдом

Суть этого метода состоит в том, что в скважину опускается контейнер с сухим льдом, который устанавливают вначале 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 выделяется большое количество углекислого газа.

Вследствие ограниченного воздушного пространства над поверхностью воды мгновенно создается избыточное давление газа, под действием которого происходят 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, наблюдается сброс избыточного давления газа до нуля под действием гидродинамического давления.

#### 5. 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.

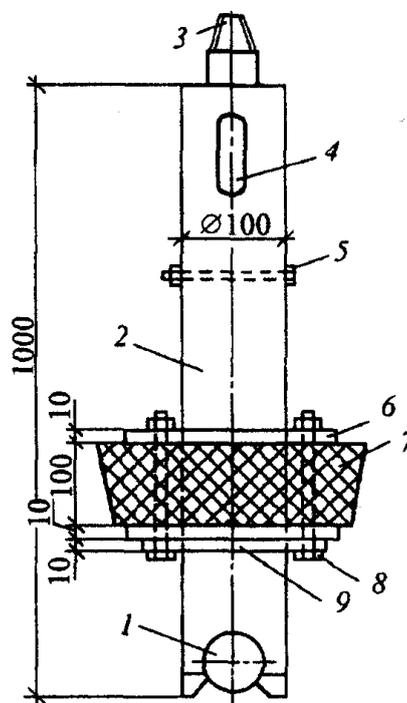


Рис. 3. Конструкция сваба:  
 1 – обратный клапан; 2 – стальная труба;  
 3 – переходник; 4 – разгрузочное  
 отверстие; 5 – стопорный болт;  
 6 – съемный фланец; 7 – резиновая  
 манжета; 8 – стяжной болт;  
 9 – опорный фланец

Для очистки фильтров скважин используют поверхностно-активные вещества (ПАВ) и соляные кислоты совместно с ингибитором – катапин К – 1:250. Соляно-кислотной обработке предшествуют 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 зафильтрованное пространство скважины, вследствие чего солевые отложения на фильтре и в прифильтровой 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 кольматирующих образований с использованием импульсных методов и последующую реагентную обработку.

## 2. Реконструкция водозаборных сооружений из поверхностных 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;
- реконструкцию непосредственно элементов водозаборного сооружения.

При наличии общих благоприятных условий работы водозабора его производительность может быть повышена 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 *а, б* (рис. 4). При этом целесообразно строительство дополнительных оголовков с самостоятельными самотечными или сифонными трубопроводами.

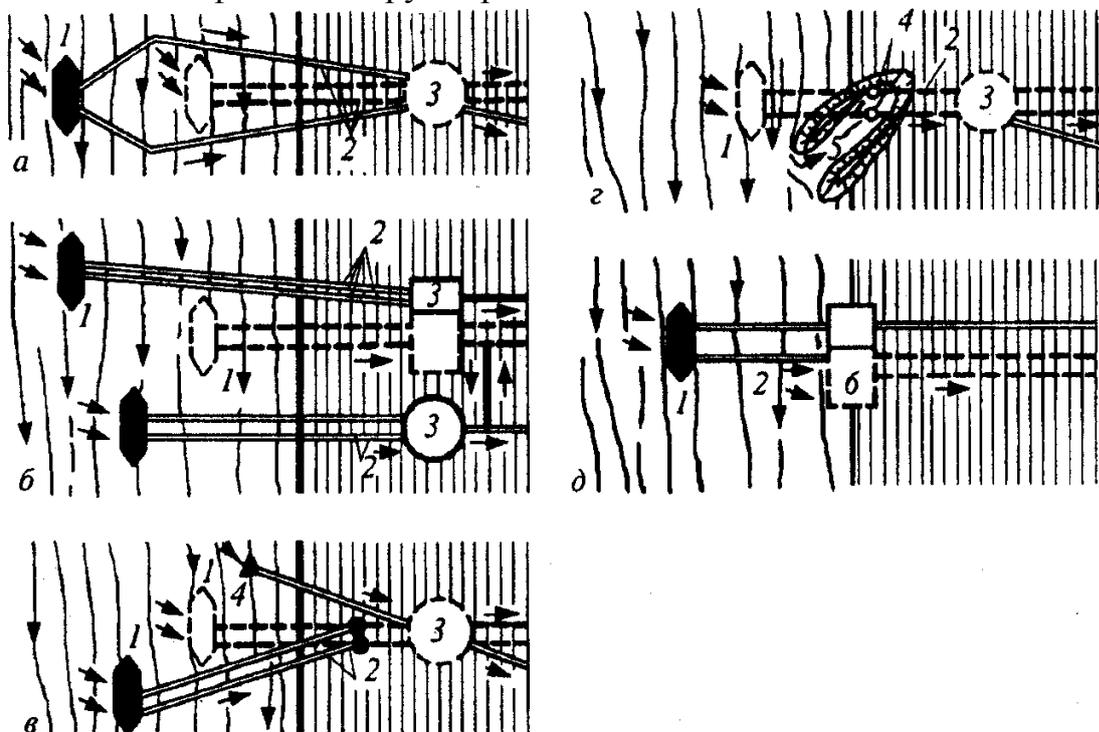


Рис. 4. Схемы реконструкции речных водозаборов:  
 1 – водоприемные оголовки; 2 – самотечные или сифонные линии; 3 – береговой колодец, совмещенный с насосной станцией I подъема; 4 – раструбные оголовки;  
 5 – водоприемный ковш; 6 – береговой водоприемник; 7 – соединительный трубопровод для переключения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

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. При использовании данной схемы в комплексе одного водозабора действует до 5 и более водоприемных оголовков и 2-3 береговых колодца.

Для увеличения надежности работы водозабора рекомендуется устройство дополнительного водоприемника, возможно, даже простейшей конструкции, что позволяет в экстремальных условиях предотвратить полную остановку водозабора (см. рис. 4, *в*).

В случае невозможности дальнейшей эксплуатации русловых водоприемников из-за сложных условий можно устроить ковшевой водозабор (см. рис. 4, *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 (см. рис. 4, д).

Когда исчерпаны возможности замены насосно-энергетического оборудования, осуществляется строительство дополнительных насосных станций I подъема (см. рис. 4) (вид с переключениями на напорных водоводах, а иногда и на всасывающих линиях). Такое решение приводит к взаимному резервированию насосно-энергетического оборудования.

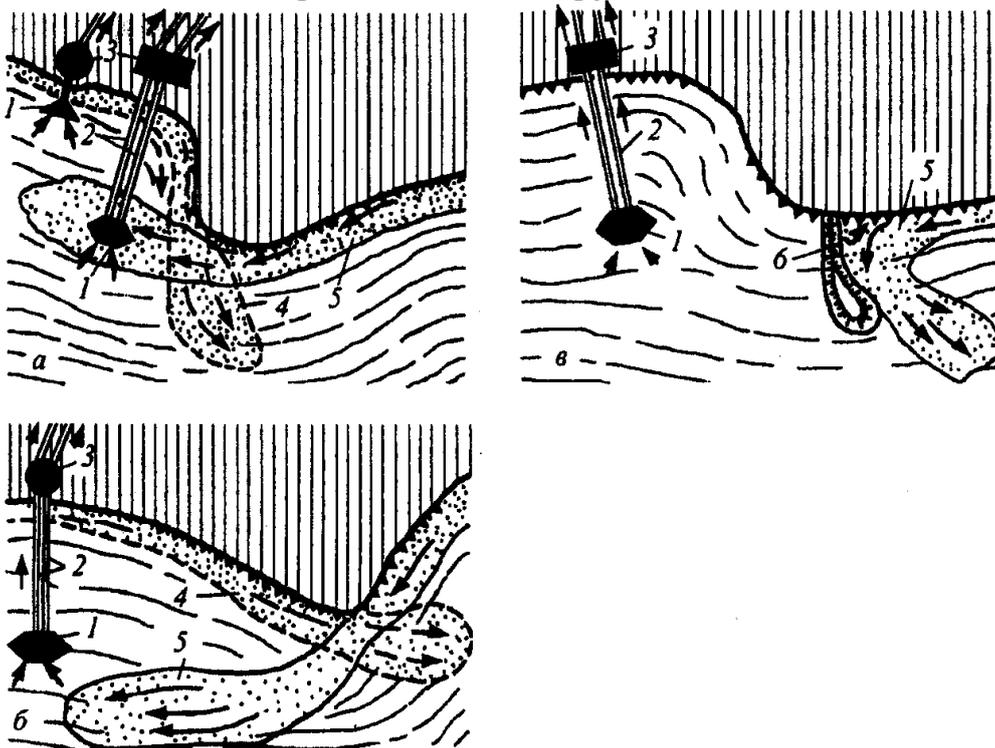


Рис. 5. Вдольбереговые течения на водохранилищных водозаборах:  
*а* – водоприемник подвержен воздействию вдольбереговых течений;  
*б* – водоприемник не подвержен воздействию вдольбереговых течений;  
*в* – вдольбереговые течения при наличии взвесеperехватывающей шпоры;  
 1 – водоприемник; 2 – подводящие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

Отрицательное влияние на работу водозаборов преимущественно из водохранилищ (шуга, наносы и т.д.) оказывают вдольбереговые, а также градиентные, плотностные и компенсационные течения. 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. 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 (см. рис. 5).

В случае невозможности строительства шпор или бун 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.

### Контрольные вопросы

1. Назовите наиболее частые причины ухудшения работы скважин.
2. Расскажите о наиболее распространенных методах диагностики и обследования скважин.
3. Какие мероприятия осуществляются для восстановления дебита скважины?
4. Перечислите направления реконструкции водозаборных сооружений из поверхностных источников.
5. Какие существуют схемы реконструкции речных водозаборов?
6. Расскажите о мероприятиях по защите водозаборов от вдольбереговых течений.

## Лекция №3 РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

1. Реконструкция насосных станций I подъема.
2. Реконструкция насосных станций II подъема.

### 1. Реконструкция насосных станций I подъема

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. 6. Устройство монтируют следующим образом. На поверхности земли соединяют нагнетательный патрубок погружного насоса с нижним концом трубы, к которому приваривают опорный фланец, скобу и с помощью 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.

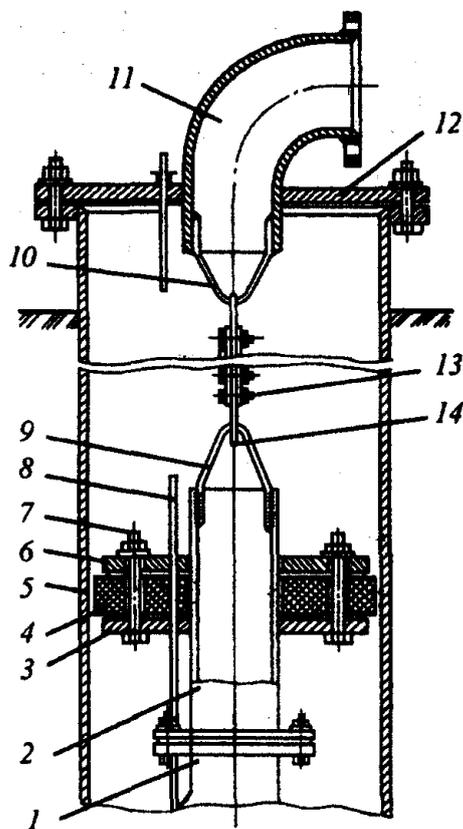


Рис. 6. Устройство для забора воды из глубоководных скважин без использования водоподъемных труб:  
1 – нагнетательный патрубок погружного насоса; 2 – нижний участок водоподъемной трубы; 3 – опорный фланец; 4 – эластичная манжета; 5 – обсадная труба; 6 – подвижной фланец; 7 – болт; 8 – токопроводящий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

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 с помощью 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.

При значительном уменьшении дебита скважины иногда возникает необходимость замены насоса на меньшую марку, т.е. с меньшим наружным диаметром. Если диаметр электродвигателя значительно меньше диаметра эксплуатационной колонны труб, предусматривается установка электронасоса с кожухом, чтобы обеспечить охлаждение электродвигателя обтекаемым потоком воды (рис. 7).

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.

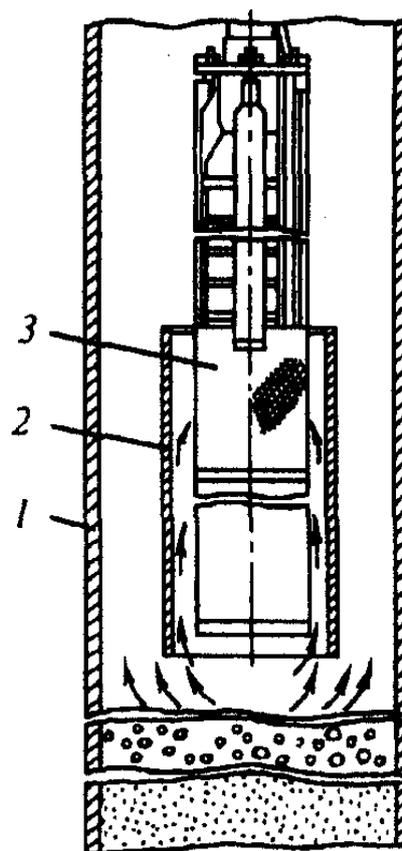


Рис 7. Установка электронасоса с кожухом:  
1 – рабочая колонна скважины; 2 – кожух;  
3 – погружной электронасос

## 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 возможны 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 в горизонтальном положении.

Подобные насосы могут быть установлены непосредственно в резервуары чистой воды, в резервуары каптажных сооружений подземных вод (рис. 8).

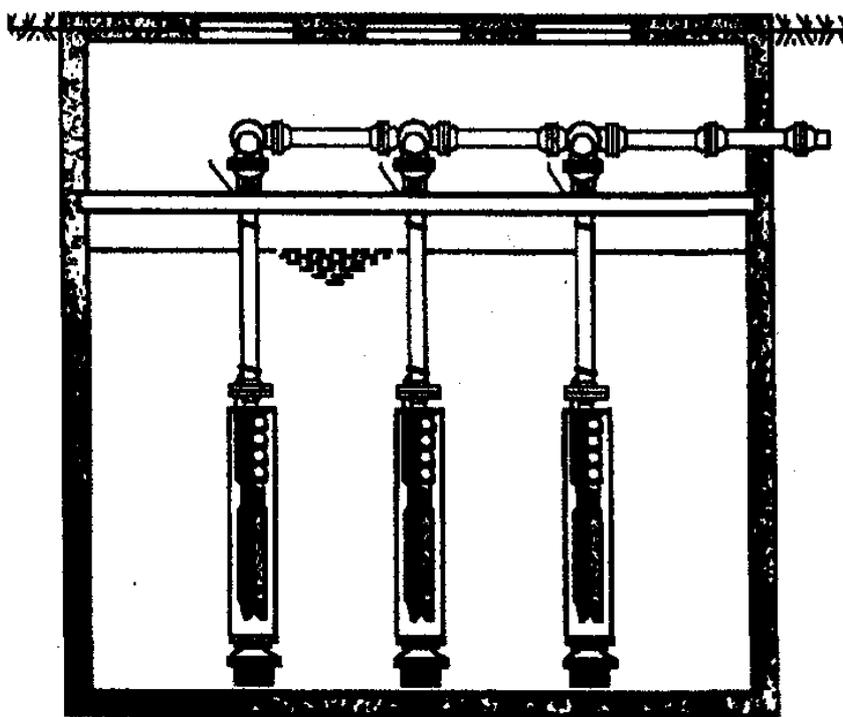


Рис. 8. Установка погружных насосов в резервуаре чистой воды

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 (см. рис. 9).

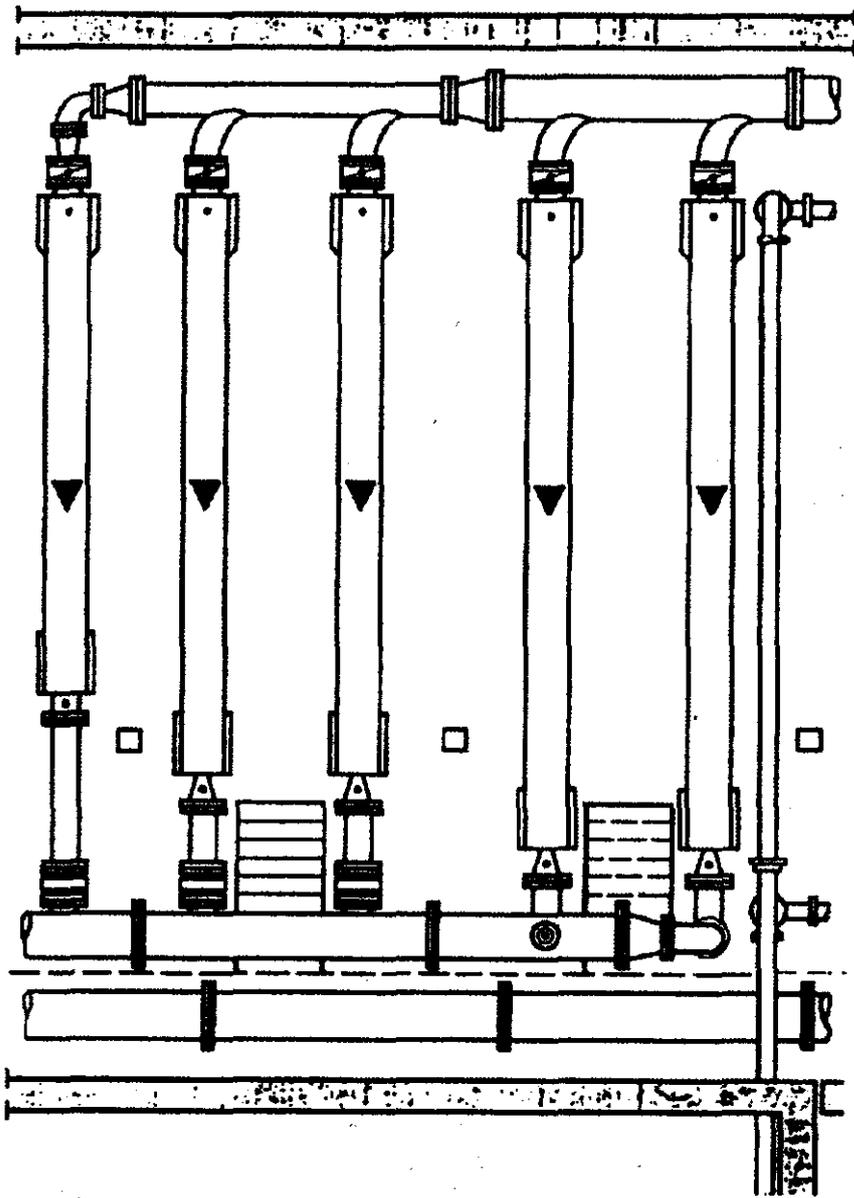
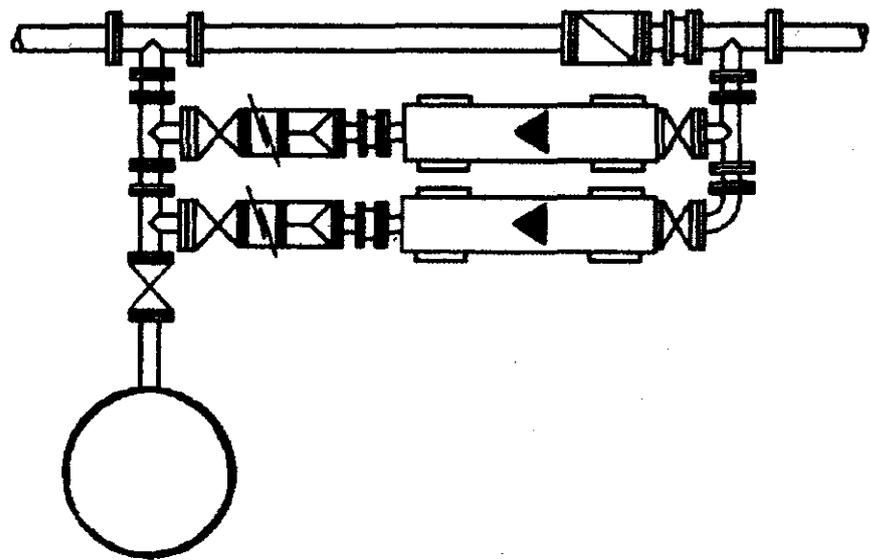


Рис. 9. Насосная станция с погружными насосами

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

Важной задачей при эксплуатации насосов является ресурс- и энергосбережение. 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 широкое 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 частотные преобразователи имеют возможность подключения к ним поочередно работающих насосов, что обеспечивает равномерное использование насосных агрегатов. В табл. 2 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.

Т а б л и ц а 2

| Марка    | Нормальный ток, А | Максимальный ток, А | Мощность двигателя, кВт |
|----------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| 1        | 2                 | 3                   | 4                       |
| UF40-003 | 2,5               | 3                   | 0,75                    |
| UF40-005 | 4,0               | 5                   | 1,50                    |
| UF40-007 | 6,0               | 7                   | 2,20                    |
| UF40-011 | 9,5               | 11                  | 4,0                     |
| UF40-016 | 13,0              | 16                  | 5,50                    |
| UF40-G22 | 18,0              | 22                  | 7,50                    |
| UF40-031 | 26,0              | 31                  | 11                      |
| UF40-037 | 31,0              | 37                  | 15                      |
| UF40-055 | 46,0              | 55                  | 22                      |
| UF40-073 | 61,0              | 73                  | 30                      |
| UF40-089 | 74,0              | 89                  | 37                      |
| UF40-108 | 90,0              | 108                 | 45                      |
| UF40-131 | 109,0             | 131                 | 55                      |
| UF40-175 | 146,0             | 175                 | 75                      |

Окончание табл. 2

| 1        | 2     | 3   | 4   |
|----------|-------|-----|-----|
| UF40-210 | 175,0 | 210 | 90  |
| UF40-252 | 210,0 | 252 | 110 |
| UF40-300 | 250,0 | 300 | 132 |
| UF40-360 | 300,0 | 360 | 160 |
| UF40-450 | 375,0 | 450 | 200 |
| UF40-564 | 470,0 | 564 | 250 |
| UF40-708 | 590,0 | 708 | 315 |

### Контрольные вопросы

1. Почему возникает необходимость реконструкции насосных станций I подъема?
2. В чем заключается метод реконструкции насосных станций путем перехода на забор воды из скважины без водоподъемных труб?
3. Расскажите о мероприятиях, проводимых при замене насоса скважины на меньшую марку.
4. Каковы основные методы реконструкции насосных станций II подъема?
5. Каким образом осуществляется установка дополнительных насосов на насосных станциях II подъема?

## Лекция №4

# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ВЫБОР СХЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ

1. Обследование и анализ работы действующих очистных сооружений.
2. Обоснование необходимости реконструкции существующих водопроводных очистных сооружений (ВОС). Выбор технологической схемы реконструируемых сооружений.

### 1. Обследование и анализ работы действующих сооружений

Анализ работы действующих очистных сооружений начинают с изучения исполнительной проектной документации. Знакомятся с типом и конструкцией сооружений, их размерами, проектными технологическими параметрами, особое внимание обращают на изменения в конструкции за период эксплуатации, тщательно изучают журналы эксплуатации.

Затем производят детальный осмотр сооружений, проводят наблюдения за работой каждого сооружения. При этом:

- уточняют габаритные размеры сооружений, диаметры коммуникаций, отметки всех характерных точек высотной схемы;
- тщательно осматривают системы подачи и отвода воды и осадка;
- фиксируют виды, дозы и точки ввода всех реагентов, используемых на станции;
- определяют расход всей станции и отдельных сооружений;
- оценивают равномерность распределения воды между отдельными секциями станции и сооружениями;
- измеряют скорости фильтрования и интенсивности промывки фильтровальных сооружений, продолжительность фильтроцикла;
- строят кривую зависимости мутности воды в процессе промывки, а также определяют остаточные загрязнения загрузки;
- определяют время пребывания воды в смесителях, камерах хлопьеобразования, отстойниках, время контакта при обеззараживании;
- оценивают по данным эксплуатации периодичность и качество продувки (сброса осадка) осветлителей или отстойников;
- анализируют показатели качества воды до и после каждой ступени очистки.

После сбора данных о работе станции выполняют поверочный расчет. Цель расчета – определение фактической (возможной) производительности и скоростей протекания технологических процессов и сравнение их с нормативными данными.

На основании поверочного расчета выявляют сооружения или технологические процессы, являющиеся «узкими» местами станции, т.е.

препятствующим увеличению подачи или улучшению качества обработанной воды.

При определении расчетной производительности станции учитывают расходы воды на собственные нужды сооружений по данным осмотра и замеров. Методика расчета сводится к вычислению скоростей движения воды, времени пребывания при заданном расходе и замеренных габаритных размерах сооружений. Анализ результатов расчета заключается в сравнении полученных технологических параметров с нормативными. В случае несоответствия этих параметров необходимому технологическому режиму предлагают пути реконструкции с учетом последних достижений в области водоподготовки.

## **2. Обоснование необходимости реконструкции существующих водопроводных очистных сооружений.**

### **Выбор технологической схемы реконструируемых сооружений**

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 применением 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.

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, к разложению органики и появлению гнилостных запахов, к накоплению токсичного ила, к 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 существующие очистные сооружения не всегда в состоянии обеспечить необходимую санитарную защиту населения и требуемое СанПиН 2.1.4.1074-01 качество питьевой воды.

Используемые в практике водоочистки технологические схемы обычно классифицируются на реагентные и безреагентные; предочистки и глубокой очистки; одноступенные и многоступенные; напорные и безнапорные.

Для разработки технологических схем улучшения качества воды требуются многие данные. Прежде всего устанавливается целевое назначение воды, т.е. требования потребителя к ее физическим, химическим и бактериологическим показателям; учитывается качество воды самого источника водоснабжения и в разные времена года, степень и возможность загрязнения его бытовыми и промышленными сточными водами и др.

Ответственным и сложным этапом является правильная оценка источника водоснабжения. Важно не только определить примеси воды, обуславливающие ее привкусы, запахи, цветность, мутность, жесткость и т.д., но и изучить химические и биологические процессы, протекающие в водоеме и влияющие на стабильность состава воды. Поэтому оценка водоема, как правило, складывается в результате длительного наблюдения за составом примесей воды, за изменением во времени каждого отдельного компонента. Только при таком изучении можно правильно расшифровать данные анализа воды.

Кроме специфических особенностей очистки воды, определяемых требованиями потребителя и устанавливаемых в каждом отдельном случае, существуют и некоторые общие положения, которыми можно руководствоваться при выборе схем очистки воды, подборе элементов очистных сооружений и их компоновке.

При подготовке питьевой воды в случае, если забор ее производится из открытых водоемов, воду обычно осветляют, обесцвечивают и обеззараживают. Если же источники водоснабжения – подземные напорные и безнапорные воды или вода чистых озер и прудов, ее обработка ограничивается только обеззараживанием.

Конструктивное оформление принятой схемы определяется производительностью и составом проектируемых сооружений, рельефом и гидрогеологией площадки, климатическими данными и возможностью создания зон санитарной охраны, а также технико-экономическими расчетами.

При проектировании очистных сооружений комплекс и типы основного и вспомогательного оборудования определяются принятым методом обработки воды. Объем отдельных сооружений рассчитывают по времени, необходимому для протекания тех или иных физико-химических процессов в воде, поступающей на обработку. При непрерывной работе этих сооружений расчет их обязательно предполагает нахождение времени пребывания воды в различных элементах схемы при скорости потока, соответствующей нормальному течению процесса очистки.

Реагенты в воду подают таким образом, чтобы обработка ее заканчивалась в проектируемом комплексе оборудования и выходящая вода соответствовала требованиям потребителя и чтобы в дальнейшем вода не изменяла своего состава и свойств. Для этого реагенты следует вводить в начале очистных сооружений и специальными устройствами обеспечивать быстрое и полное смешение отдозированных реагентов со всей массой очищаемой воды. Исключение составляют методы обработки воды, предназначенные для устранения воздействия разветвленной сети трубопроводов на качество воды (повторное бактериальное загрязнение, коррозия и т.д.), а также для ее обогащения микроэлементами (фторирование). В этом случае реагенты, не содержащие взвешенных веществ и не образующие их при взаимодействии с солями, содержащимися в воде, разрешается вводить в очищенную воду.

Сочетание соответствующих технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно классифицировать следующим образом: реагентные и безреагентные; по эффекту осветления; по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них; напорные и безнапорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно различаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации. Процессы обработки воды с применением реагентов протекают интенсивнее и значительно эффективнее. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ с использованием реагентов необходимо 2-4 ч, а без реагентов – несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5-12 м/ч и более, а без реагентов – 0,1-0,3 м/ч (медленное фильтрование).

Водоочистные сооружения для обработки воды с применением реагентов значительно меньше по объему, компактнее и дешевле, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной схемы.

Глубокому осветлению подвергают воду хозяйственно-питьевых и других производственных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высокие требования. Технологию для неполного осветления воды обычно используют при подготовке технической 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:

1. Осуществление дополнительного озонирования перед фильтрованием через зернистую загрузку при реагентной обработке мутных, цветных вод с последующим их отстаиванием (или осветление в слое взвешенного осадка), фильтрованием и обеззараживанием.

2. Использование первичного озонирования с целью достижения флокулирующего эффекта и окисления органики перед традиционными сооружениями и вторичное озонирование для обеззараживания и дезодорации воды при очистке маломутных цветных вод. Технологическая схема предусматривает включение в состав сооружений микрофильтров, контактных резервуаров для озонирования, скорых фильтров или контактных осветлителей и резервуаров чистой воды.

4. Включение в схему биореакторов с прикрепленной микрофлорой, образуемой в результате жизнедеятельности микроорганизмов при аэрации и биофильтрации воды через специальные насадки (применительно для южных регионов).

5. Применение многоступенчатых технологий, основанных на последовательном удалении примесей.

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.

#### Контрольные вопросы

1. Каков порядок обследования работы водопроводных очистных сооружений?

2. В чем заключается поверочный расчет водопроводных очистных сооружений, проводимый по результатам обследования?

3. В связи с чем возникает необходимость реконструкции существующих водопроводных очистных сооружений?

4. Назовите наиболее распространенные технологии, применяемые при реконструкции существующих водопроводных очистных сооружений.

## Лекция №5

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ КОАГУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

1. Интенсификация процесса коагуляции.
2. Реконструкция очистных сооружений по смешению реагентов с водой.
3. Реконструкция камер хлопьеобразования.

### 1. Интенсификация процесса коагуляции

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 алюможелезистый 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 желательнее произвести 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 полного прекращения 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 рН 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 относятся аэрирование, наложение электрического и магнитного полей, воздействие ультразвуком и ионизирующее излучение. Наиболее перспективно применение аэрирования и магнитной обработки раствора коагулянта на станциях средней и высокой производительности.

Введение сжатого диспергированного воздуха (аэрирование) 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. 10.

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.

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

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 располагают 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  $45^\circ$ . 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  $45^\circ$  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  $70-80 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

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.

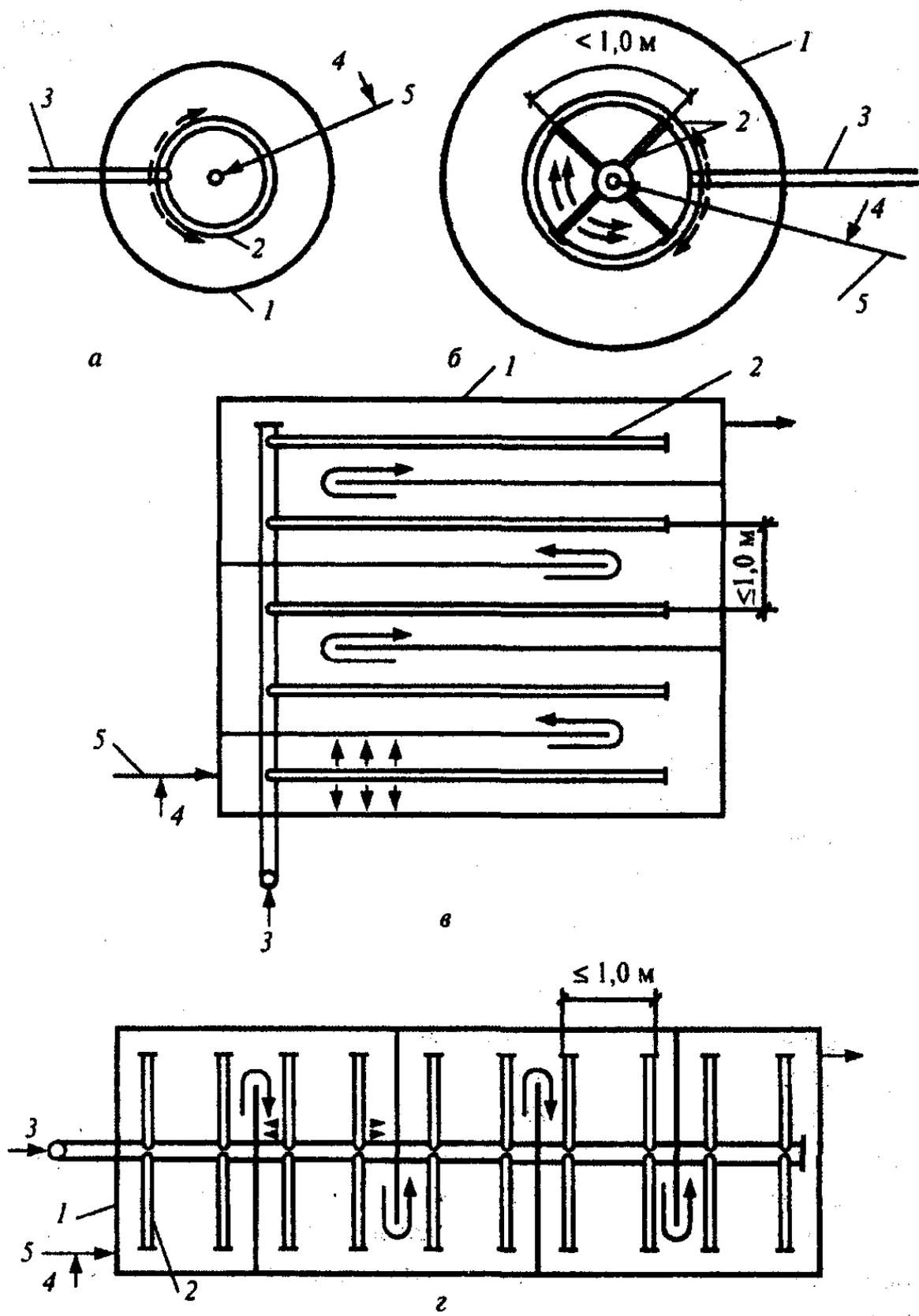


Рис. 10. Трубчатые аэраторы:  
 а, б – при смесителях вихревого типа; в, г – при смесителях перегородчатого  
 типа; 1 – корпус смесителя; 2 – дырчатые ответвления для распределения  
 воздуха; 3 – магистраль (коллектор) для подачи воздуха;  
 4 – подача коагулянта; 5 – подача воды

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.

## 2. Реконструкция очистных сооружений по смешению 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 реконструкции обычных смесителей вихревого типа. На рис. 11 изображен перфорированный распределитель коагулянта.

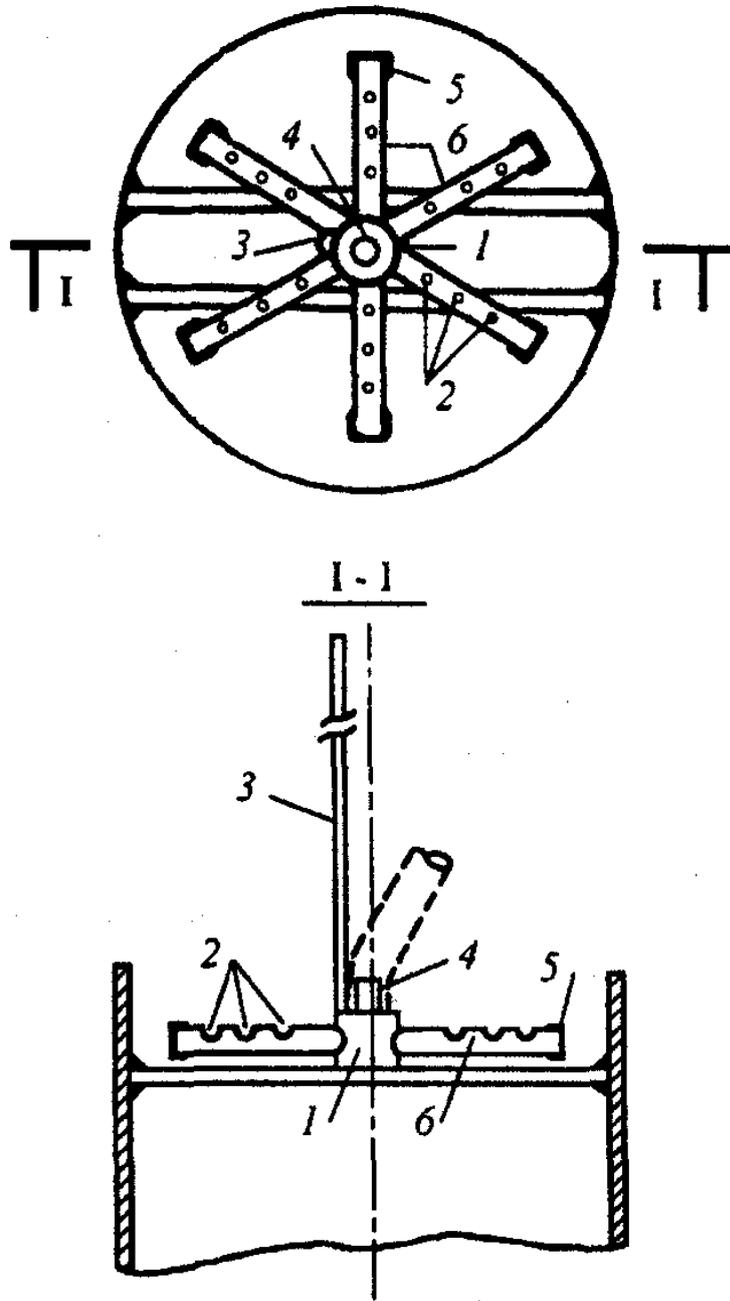


Рис. 11. Перфорированный распределитель коагулянта:  
 1 – центральный бачок; 2 – отверстия для ввода коагулянта; 3 – разъемная штанга; 4 – штуцер для присоединения шланга подачи коагулянта;  
 5 – заглушка; 6 – перфорированная трубка-луч

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 использовать 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 и направленных по движению потока воды. Распределитель опускается на место установки с помощью свинчивающейся на отдельные секции штанги (рис. 12).

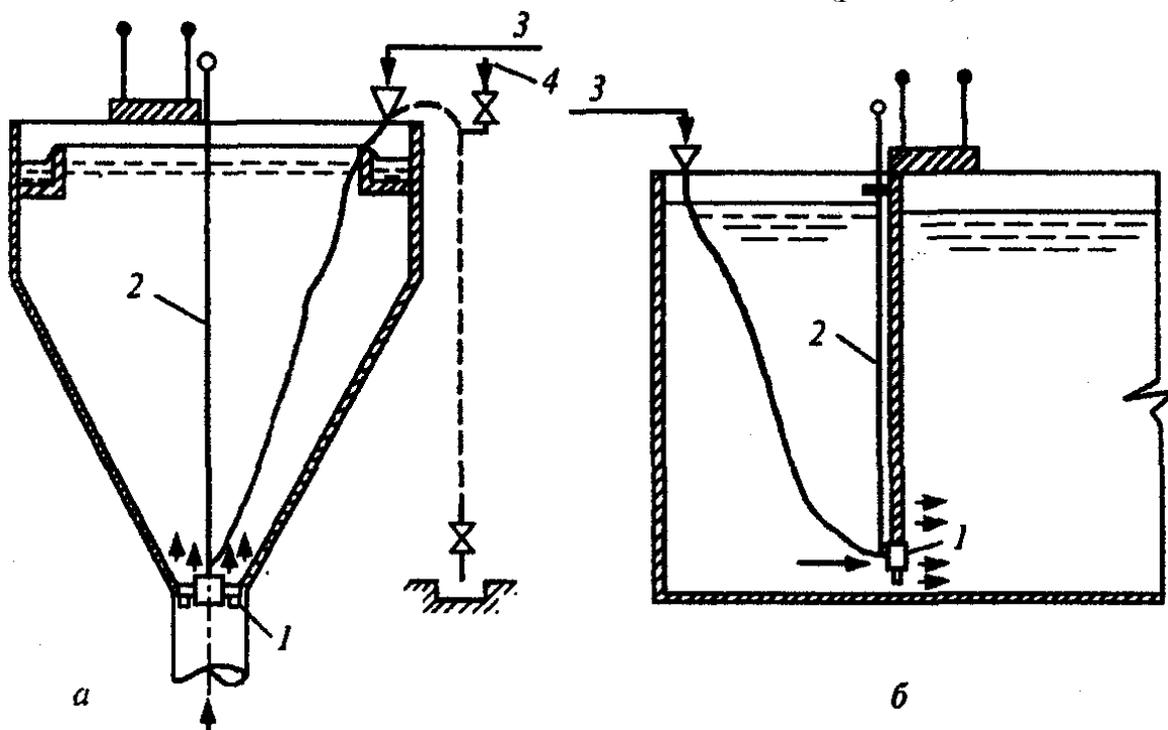


Рис. 12. Схема установки перфорированного распределителя коагулянта: а – в вихревом смесителе; б – в перегородчатом или коридорном смесителе, входной камере контактного осветлителя; 1 – распределитель; 2 – секционная свинчивающаяся штанга; 3 – подача коагулянта; 4 – зарядка сифона

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. 3).

Т а б л и ц а 3

| Диаметр отверстия, мм | Расход раствора коагулянта, проходящего через одно отверстие при $h = 30$ см, $\text{см}^3/\text{с}$ , $q_0$ | 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

$$N_0 = \frac{q_k}{q_0}, \quad (3)$$

где  $q_k$  – расход раствора коагулянта,  $\text{см}^3/\text{с}$ .

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. 13). Расположение отверстий на лучах распределителя следует выбирать в соответствии с табл. 4.

Т а б л и ц а 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. 13 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.

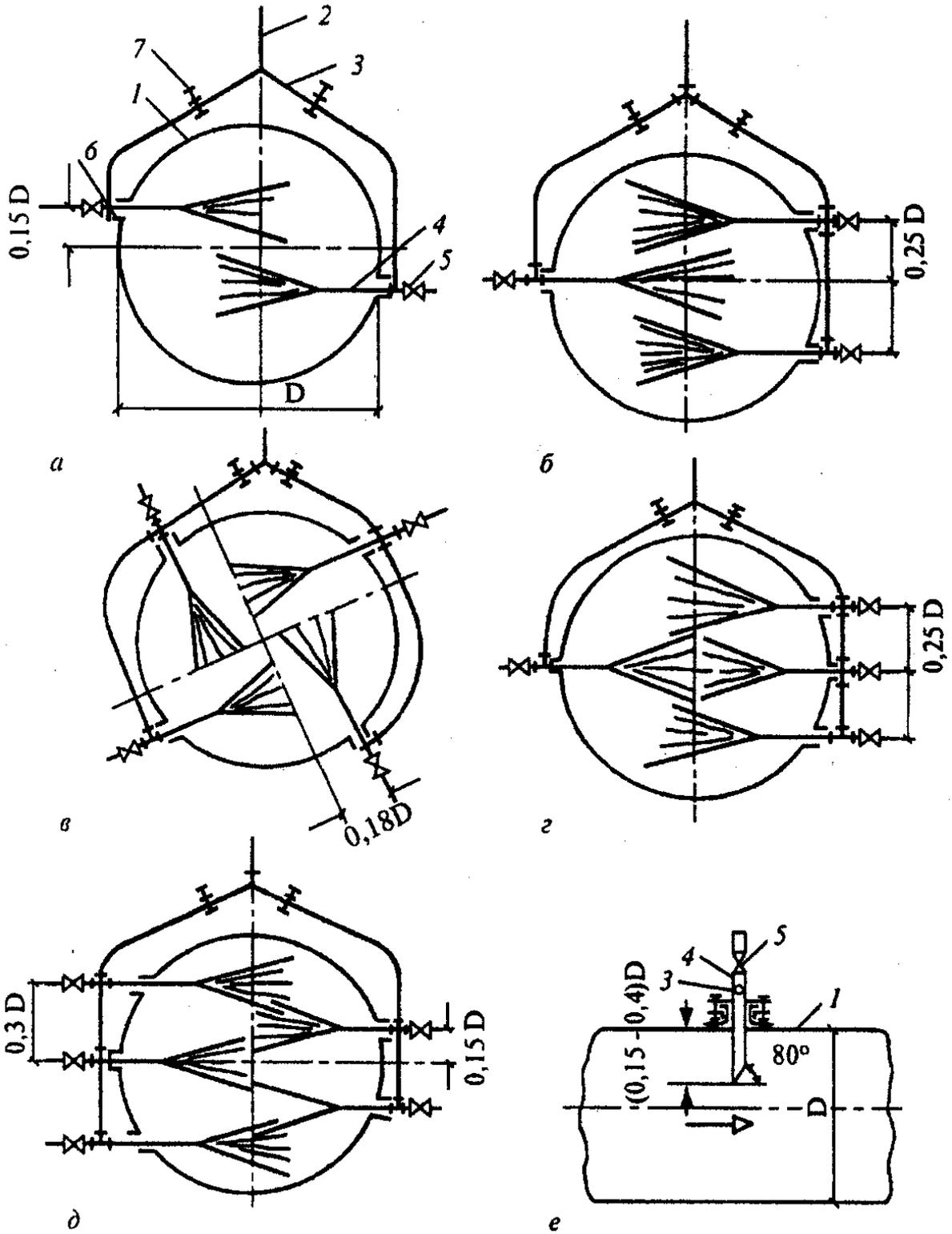


Рис. 13. Струйные распределители суспензий реагентов:  
*a...д* – варианты схем: *a* –  $D = 200 - 400$  мм; *б* –  $D = 500 - 700$  мм;  
*в, г* –  $D = 800 - 1000$  мм; *д* –  $D = 1200 - 1400$  мм; *e* – деталь ввода суспензии;  
 1 – трубопровод; 2 – реагентопровод; 3 – коллектор распределительный  
 (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 принимают 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).

### 3. Реконструкция камер хлопьеобразования

Процессы хлопьеобразования оказывают решающее влияние на эффективность очистки воды на стадиях ее отстаивания и фильтрации. В России 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. 14-16).

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.

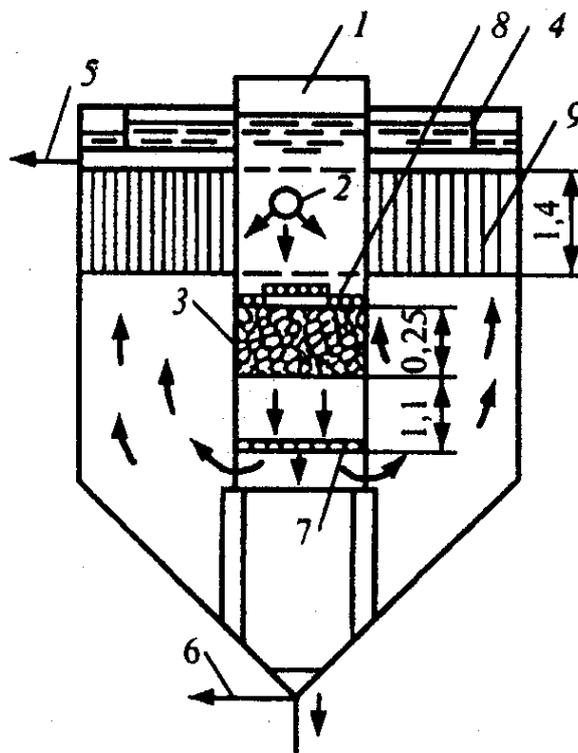


Рис. 14. Вертикальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:

- 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

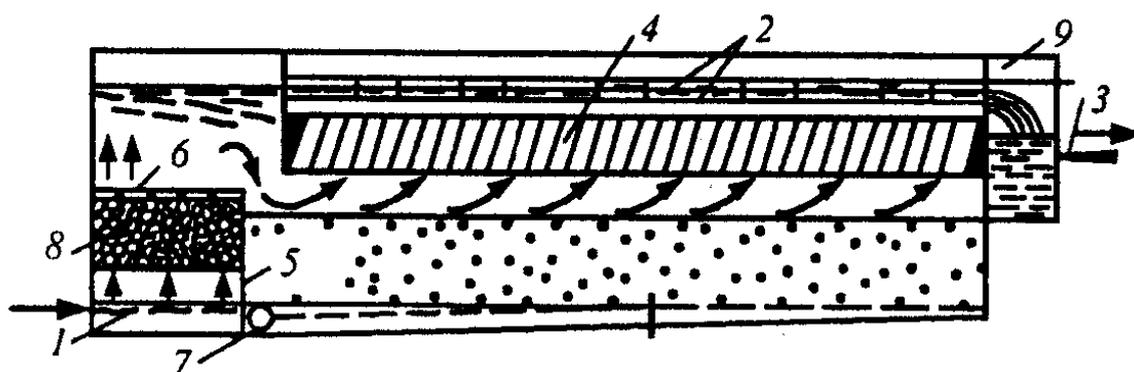


Рис. 15. Горизонтальный тонкослойный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:

- 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. 16).

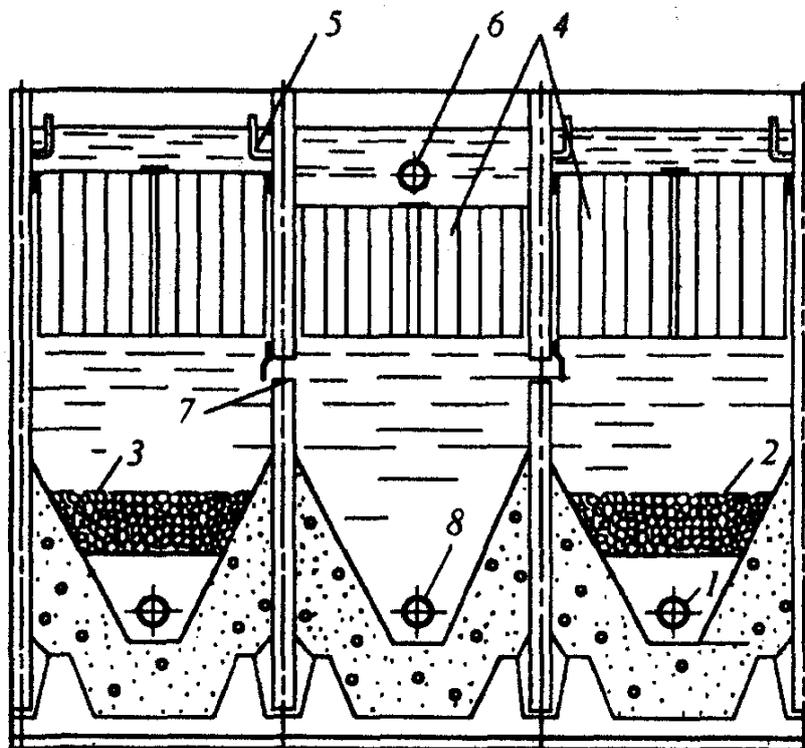


Рис. 16. Тонкослойный осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования:  
 1 – подача исходной воды; 2 – плавающая зернистая загрузка; 3 – решетка, задерживающая загрузку от всплытия; 4 – тонкослойные блоки; 5 – сборные желоба; 6 – сбор воды из шламоуплотнителя; 7 – осадкоотводящие окна; 8 – трубы 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 раза при одновременном увеличении нагрузки на сооружения 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.

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.

#### Контрольные вопросы

1. Каким образом осуществляется фракционированное, концентрированное и прерывистое коагулирование?
2. Расскажите о наиболее перспективных физических методах интенсификации процесса коагуляции.
3. Как осуществляется реконструкция смесителей?
4. Какие модификации камер хлопьеобразования можно рекомендовать к использованию в процессе реконструкции очистных сооружений?
5. В чем заключается принцип работы тонкослойно-эжекционных и рециркуляционных камер хлопьеобразования?

## Лекция №6

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ОТСТАИВАНИЮ, ФИЛЬТРОВАНИЮ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

1. Оптимизация работы отстойников и осветлителей со слоем взвешенного осадка.
2. Реконструкция фильтровальных сооружений.
3. Реконструкция сооружений по обеззараживанию природной воды.

### 1. Оптимизация работы отстойников и осветлителей со слоем взвешенного осадка

В практике водоподготовки для предварительного осветления воды перед поступлением ее на скорые фильтры 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  $l_{п} = l/31$ , 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 устанавливаются 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 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>; для вод средней мутности 3,6-4,5 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>; для маломутных и цветных вод 3-3,5 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>. В результате исследований и конструкторских разработок был налажен мелкосерийный выпуск тонкослойных сотоблоков. В качестве материала использована полиэтиленовая пленка толщиной 0,15-0,2 мм. Размеры ячейки сотоблока 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 сотоблока, 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. 17).

Работа осветлителей со слоем взвешенного осадка в случае очистки маломутных цветных вод может быть интенсифицирована за счет повышения концентрации твердой фазы путем рециркуляции ранее образовавшегося в сооружениях осадка, который при введении в очищаемую воду играет роль дополнительных центров хлопьеобразования (рис. 18).

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

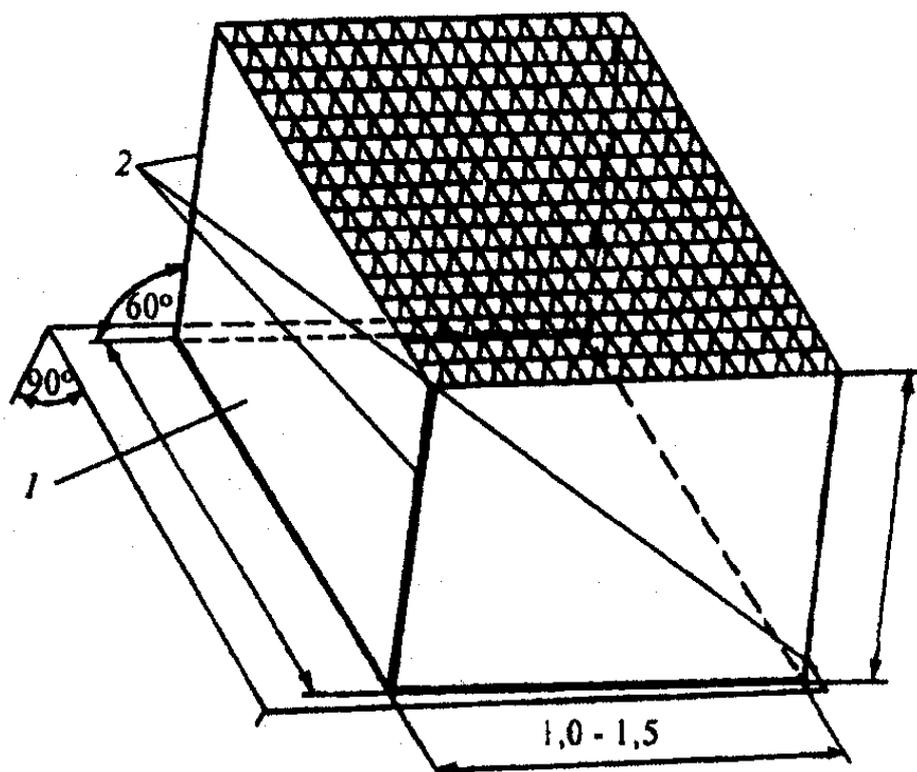


Рис. 17. Тонкослойный сотоблок из полиэтиленовой пленки:  
 1 – тонкослойный блок из полиэтиленовой пленки;  
 2 – стержни для растяжения сотоблока

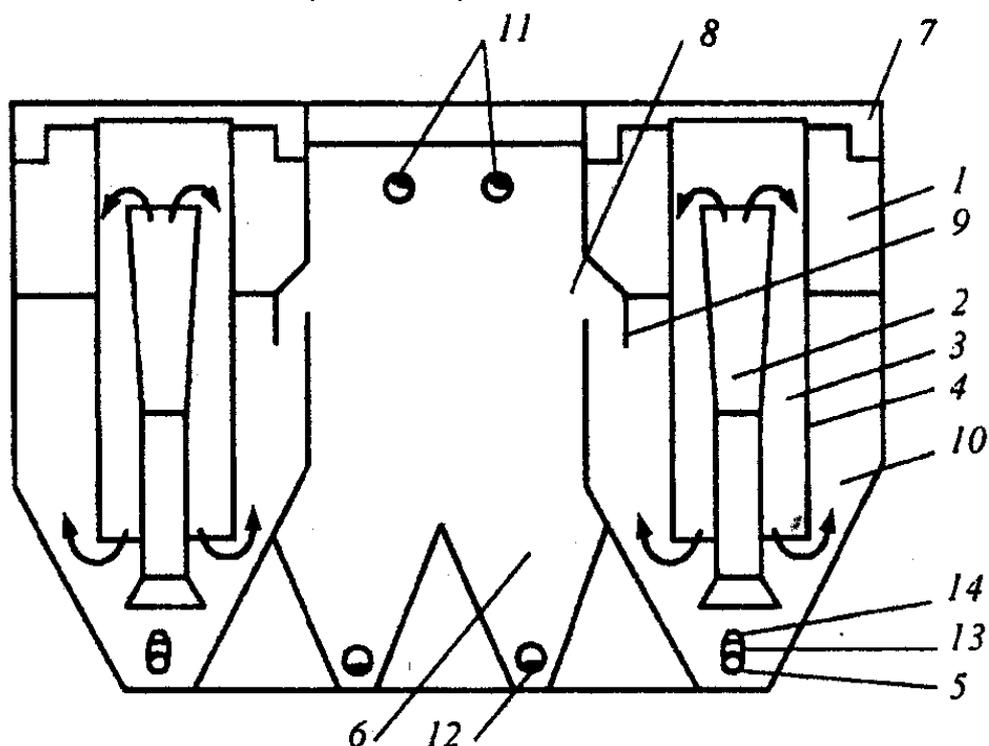


Рис. 18. Осветлитель-рециркулятор:  
 1 – рабочая камера; 2 – смеситель; 3 – камера хлопьеобразования;  
 4 – направляющий аппарат; 5 – распределительная трубка;  
 6 – осадкоуплотнитель; 7 – лоток; 8 – окна; 9 – защитный козырек;  
 10 – слой взвешенного осадка; 11 – трубы для перепуска взвешенного осадка;  
 12 – трубы для выпуска уплотненного осадка; 13 – патрубок; 14 – сопло

## 2. Реконструкция фильтровальных сооружений

### *Реконструкция фильтрующего слоя.*

При реконструкции 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 соответствующей 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 определяются по формуле

$$h = \frac{\rho_3 - \rho}{\rho} (1 - m) \cdot l_0, \quad (4)$$

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. 5).

Т а б л и ц а 5

| Материал  | $\rho_3$ , г/см <sup>3</sup> | $m$  | $h$ , 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 при контактном осветлении загрузок с большой плотностью позволяет за счет большей предельной потери напора увеличить продолжительность фильтроцикла и повысить производительность фильтровальных сооружений.

Использование фильтров с плавающей полимерной нагрузкой (рис. 19) 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.

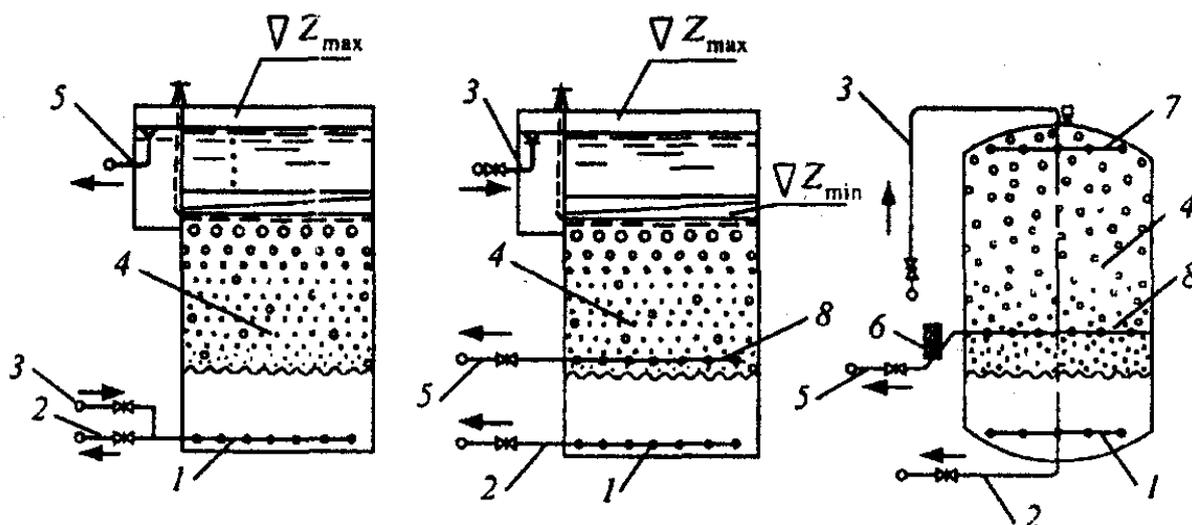


Рис 19. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой:  
 а – ФПЗ-1; б – ФПЗ-4; в – ФПЗ-4н (ФПЗ-3,4-150); 1 – нижняя сборно-распределительная система; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача исходной воды; 4 – пенополистирольная загрузка; 5 – отвод фильтрата; 6 – уловитель пенополистирола; 7 – верхняя 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.

#### *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.

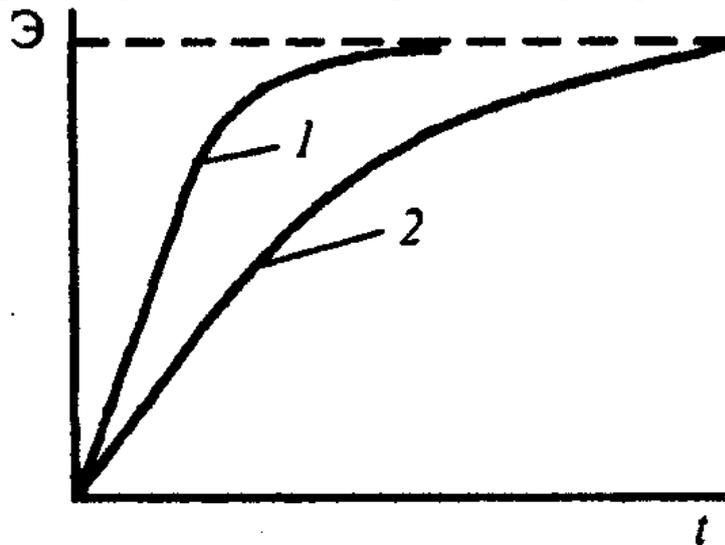


Рис 20. Изменение эффективности промывки фильтрующей загрузки во времени при воздушной промывке:  
1 – водовоздушная промывка; 2 – водяная промывка

При водовоздушной промывке любой требуемый эффект отмывки может быть достигнут (в отличие от водяной промывки) даже при малом расходе воды (см. рис. 20).

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 подбирается таким образом, чтобы загрузка не расширялась. Благодаря этому не происходит смещения и перемешивания слоев загрузки,

обеспечивается заданное первоначальной укладке загрузки распределение ее крупности по высоте слоя.

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.

### *Новые виды дренажей в скорых фильтрах*

При реконструкции действующих скорых фильтров целесообразно применение новых видов дренажей из полимербетона. Они могут применяться при водяной и водовоздушной промывке. Данные 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. Наиболее распространенной является дырчатая конструкция дренажа.

Дырчатый дренаж изготавливается из железобетонных плит, отверстия которых заполнены пористым полимербетоном (рис. 21). 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 промывки 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. Данная конструкция дренажа применяется, как правило, при реконструкции открытых скорых фильтров.

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 водовоздушной 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 %.

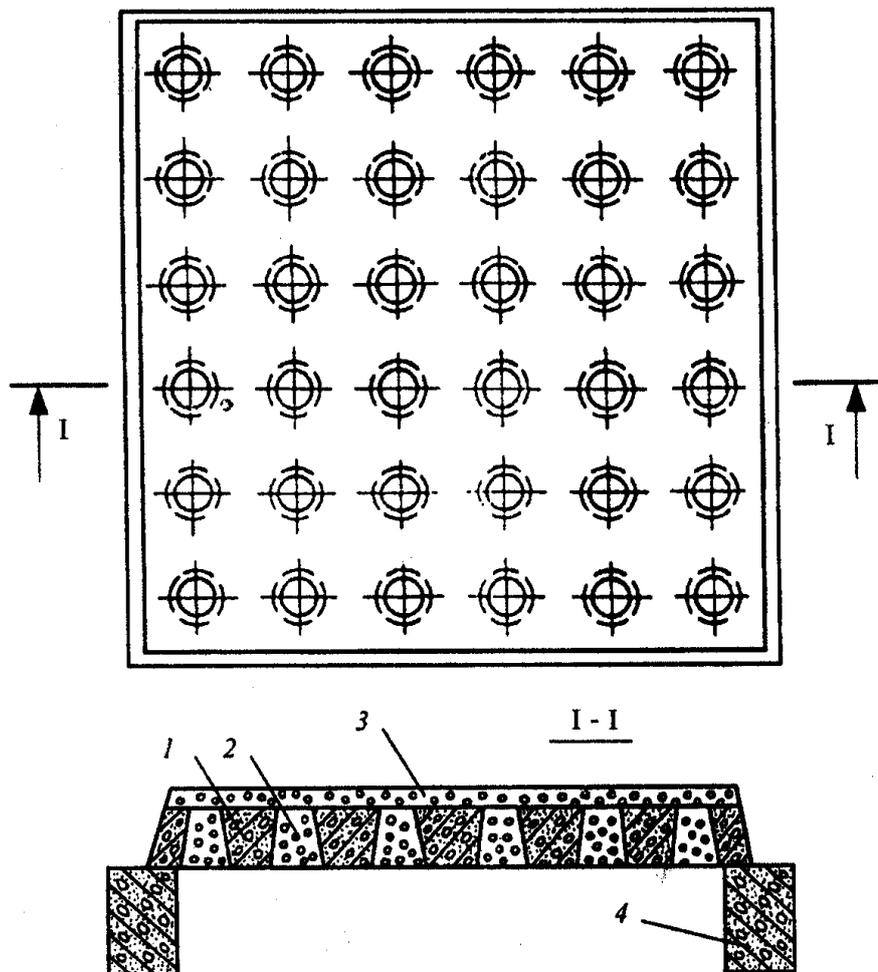


Рис. 21. Дренажная плита:  
1 – железобетонная плита; 2 – отверстия, заполненные полимербетоном;  
3 – слой полимербетона; 4 – опора плиты

### 3. Реконструкция сооружений по обеззараживанию природной воды

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.

Технология обеззараживания гипохлоритом натрия (рис. 22) 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.

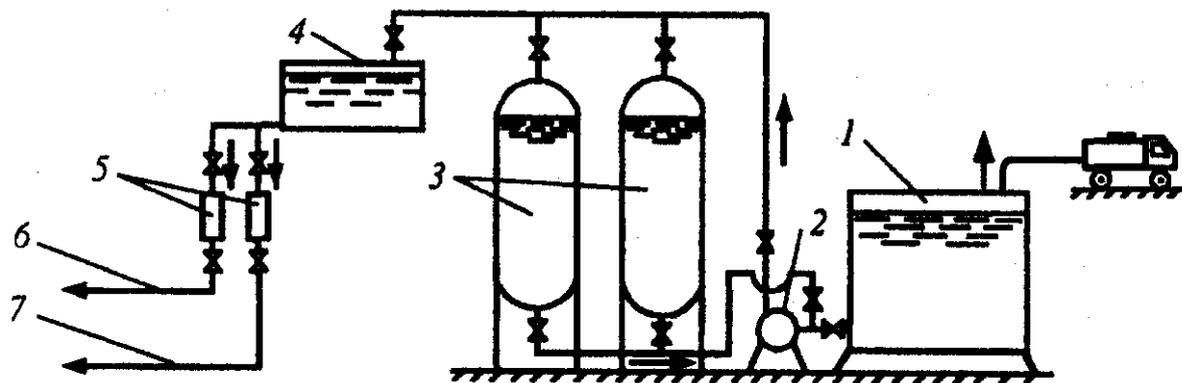


Рис. 22. Технологическая схема применения гипохлорита натрия:  
1 – приемная емкость; 2 – насос; 3 – баки хранилища; 4 – расходный бак;  
5 – дозаторы; 6, 7 – подача гипохлорита натрия на первичное  
и вторичное хлорирование

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

Особенностью электролизеров типа ЭН, применяемых в ряде регионов РФ в практике обеззараживания, является то, что данные аппараты, являясь аппаратами циклического действия, с длительностью одного цикла 0,75-6 ч, вызывают 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. 6.

Т а б л и ц а 6

| 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-2-1 М         | 6-8   | 24                          | 80                     | 1000                           |
| АОХ-2-2М          | 16  | 60                          | 150                    | 2000                           |

Одним из перспективных методов обеззараживания воды является УФ-облучение, которое может успешно применяться в условиях эксплуатации средних и крупных очистных сооружений хозяйственно-питьевой воды из поверхностных источников водоснабжения взамен первичного хлорирования.

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

Широко поставленные исследования, проводимые с конца 1970-х годов за рубежом и в России, выявили, что для обеззараживания воды может успешно применяться метод УФ-облучения при эксплуатации средних и крупных очистных сооружений 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 мДж/см<sup>2</sup>. 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 перекрытия потока воды.

В настоящее время в России 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 мДж/см<sup>2</sup>.

Некоторые характеристики установок УДВ для обеззараживания питьевой воды приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

| Наименование   | Производительность, не более, м <sup>3</sup> /ч | Электропотребление, не более, кВт·ч |
|--|---|-------------------------------------|
| Вода артезианская, СанПиН 2.1.4.10749-01 «Питьевая вода» |   |                                     |
| 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                                |
| Вода поверхностная                                       |   |                                     |
| 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.

#### Контрольные вопросы

1. Каким образом может осуществляться оптимизация работы отстойников?
2. За счет чего может быть достигнута интенсификация работы осветлителей со слоем взвешенного осадка?
3. Поясните основные принципы реконструкции фильтрующего слоя.
4. В чем заключается интенсификация промывки фильтровальных сооружений?
5. Расскажите о новых видах дренажей в скорых фильтрах.
6. В чем заключается технология обеззараживания воды гипохлоритом натрия?
7. В чем заключается технология обеззараживания воды УФ-излучением?

## Лекция №7

# ТЕХНОЛОГИИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ И ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

1. Прочистка водопроводных и водоотводящих трубопроводов.
2. Методы бестраншейной реконструкции трубопроводных систем.
3. Трубы для восстановления и реконструкции инженерных сетей.

### 1. Прочистка водопроводных и водоотводящих трубопроводов

Одной из причин нарушения работоспособности трубопроводов являются коррозионные и минеральные (карбонатные) отложения и биологические обрастания внутренних поверхностей труб. Прочистка трубопроводов как имеет самостоятельное значение (восстановление пропускной способности), так и является 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 с помощью 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 обеспечивает 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. Снятые со стенок трубы отложения удаляются 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, дюкеры и задвижки. При этом эффект очистки не уступает механическому методу. Гидромеханический метод применяют для прочистки напорных трубопроводов.

Необходимо отметить, что выбор наиболее оптимального и эффективного для конкретного объекта способа прочистки представляет сложную задачу, так как при выборе должны учитываться возраст трубопровода, возможности минимизации работ по демонтажу той или иной арматуры на сети, материально-технические возможности организаций и др. Кроме того, необходимо учитывать появление со временем тех или иных недостатков, в частности относительно быстрого восстановления бугристых или иных отложений, спровоцированных нарушением сложившейся годами структуры внутренней поверхности трубопровода. Последнее обстоятельство не может исключить повторной санации трубопровода через определенный промежуток времени.

## 2. Методы бестраншейной реконструкции трубопроводных систем

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.

Основным способом бестраншейного восстановления структуры подземных трубопроводов различного назначения является нанесение внутренних защитных покрытий – облицовок, оболочек, рубашек, мембран, вставок и т.д. – по всей длине трубопровода или в отдельных его местах, подверженных дефектам.

Согласно современной международной классификации внутренние защитные покрытия могут выполняться в виде: набрызговых оболочек, сплошных покрытий, спиральных оболочек, точечных (местных) покрытий.

## **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°C) температурах окружающего воздуха.

## 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. 23. 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.

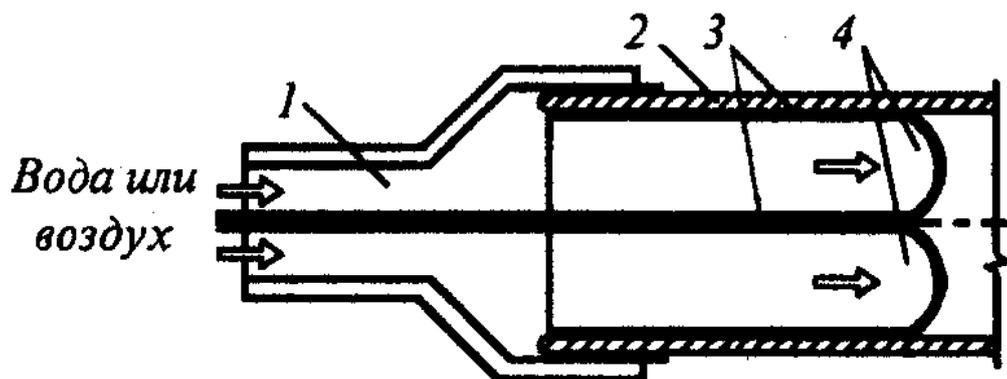


Рис. 23. Схема введения облицовочного рукава в ремонтируемую трубу:  
1 – рукав для подачи воды; 2 – ремонтируемый трубопровод;  
3 – облицовочный рукав; 4 – пазухи облицовочного рукава

Перед вводом облицованного трубопровода в эксплуатацию имеющиеся ответвления открываются изнутри трубопровода с помощью 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.

### **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 некруглой 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-лайнера» 2-4 %.

## **3. Трубы для восстановления и реконструкции инженерных сетей**

При реализации технологий бестраншейного восстановления и прокладки подземных инженерных сетей широко используются новые материалы, в частности полимерные (полиэтиленовые, поливинилхлоридные, полипропиленовые) трубы.

На сегодняшний день широкое распространение в качестве материала для изготовления трубопроводов для традиционной траншейной и бестраншейной технологий реновации инженерных сетей получил полиэтилен. Полиэтиленовые трубопроводы повсеместно используются во всех странах прежде всего благодаря экономическим преимуществам: относительно низкой стоимости, гибкости, возможности образования плетей путем соединения встык с помощью сварки или муфт, устойчивости к долговременным гидравлическим нагрузкам, коррозии и т.д.

Полиэтилен представляет собой искусственное вещество, состоящее из цепи молекул. В зависимости от расположения, места положения и длины цепей достигаются требуемые свойства материала. Исходным пунктом для классификации труб из полиэтилена принято состояние напряжения при 20 °С и необходимости службы 50 лет. По данной классификации полиэтиленовые трубы ПЭ-63 относятся к первому поколению, ПЭ-80 – второму и

ПЭ-100 – к третьему. С каждым поколением улучшаются такие показатели труб, как сопротивление внутреннему давлению и давлению грунта, противодействие разрастанию трещин и т.д.

Полиэтилен обладает одним существенным отличительным свойством: он в отличие от стали в 10 раз более растяжим, поэтому при расчете длины трубопровода и оборудования мест сопряжения необходимо учитывать линейные удлинения материала и по мере возможности противодействовать им.

Полиэтиленовые трубы малого диаметра (до 315 мм) начали выпускаться в нашей стране несколько десятилетий назад, а первая в России линия производства полиэтиленовых труб большого диаметра (от 315 до 1200 мм) методом вакуумкалибрования создана и освоена в 2003 году на Климовском трубном заводе.

Также в России освоен выпуск нового типа напорных полиэтиленовых труб различных диаметров, наружная поверхность которых покрыта защитным слоем из специального минералонаполненного полиолефина. Такие трубы обладают повышенными механическими свойствами и предназначены для протягивания в сложных условиях, например таких, как санация изношенного участка металлического трубопровода в случае невозможности качественной подготовки его внутренней поверхности перед протягиванием полимерной трубы. При использовании данных труб в период протягивания внутрь старых на их внешней поверхности не остается сколько-нибудь заметных повреждений, в то время как при применении обычных труб, изготовленных даже из полиэтилена ПЭ-100, зачастую могут наблюдаться повреждения поверхности, не совместимые с их дальнейшим использованием.

Зарубежные производители труб из полимерных материалов выпускают весьма разнообразную продукцию, удовлетворяющую строгим запросам эксплуатационных служб коммунальных сетей различного назначения. Наиболее востребованной продукцией в отечественной практике являются трубы фирм Wavin, «Спиро», «ВипЛайнер» и Upronor.

При использовании полиэтиленовых труб для протягивания в ветхие стальные трубопроводы наиболее распространенным способом соединения стыков является сварное (на больших диаметрах) и резьбовое. Преимуществами сварного и резьбового соединений являются отсутствие фасонных деталей, что не увеличивает диаметр трубы в месте стыка, а также быстрота монтажа отдельных отрезков труб, образующих протяженную трубную плетть, вводимую в восстанавливаемый трубопровод.

## Контрольные вопросы

1. Расскажите о методах прочистки водопроводных и водоотводящих трубопроводов.
2. В чем заключается метод облицовки внутренних поверхностей трубопроводов цементно-песчаным покрытием?
3. Поясните суть метода облицовки внутренних поверхностей трубопроводов гибкими рукавами.
4. Расскажите об особенностях метода введения труб, изготовленных из высокопрочного полиэтилена, способного сохранять память формы.
5. В чем заключается метод прокладки нового трубопровода по трассе с разрушением старого?
6. Поясните суть метода «труба в трубе».
7. Какие трубы применяются при реконструкции инженерных сетей?

## Лекция №8

# РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

1. Реконструкция насосных станций.
2. Обеспечение надежной работы напорных водоводов.
3. Регулирующие резервуары.

### 1. Реконструкция насосных станций

Насосные станции систем водоотведения – это комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий отведение сточных вод в соответствии с нуждами потребителя. Насосные станции осуществляют подачу сточных вод на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет отводить эти воды самотеком. Благодаря строительству насосных станций можно также избежать большого заглубления самотечных коллекторов.

Тип насосной станции водоотведения определяется: глубиной заложения подводящего коллектора; объемом сточных вод, поступающих на насосную станцию; видом перекачиваемой сточной жидкости; гидрогеологическими условиями строительства; типом устанавливаемых насосных агрегатов и способом их управления.

По роду перекачиваемой жидкости насосные станции водоотведения делятся на четыре группы: для перекачивания бытовых сточных вод, производственных сточных вод, атмосферных вод и осадков, образующихся на очистных сооружениях.

К насосным станциям, перекачивающим производственные стоки, предъявляется ряд требований, учитывающих агрессивность сточной жидкости по отношению к бетону, чугуну, стали. Также необходимо применять специальные насосы и устройства для периодической промывки установок чистой водой.

Насосные станции для перекачки атмосферных вод сооружают на сетях в тех случаях, когда отсутствует возможность их транспортировки самотеком к месту сброса.

Насосные станции для транспортировки осадков находятся в едином комплексе сооружений очистки сточной жидкости и обработки осадков. Они служат для перекачки сброшенного осадка и активного ила на сооружения для дальнейшей их обработки.

В зависимости от места расположения в общей схеме водоотведения города и выполняемых функций станции могут быть:

✓ локальные – предназначаются для транспортировки сточных вод от отдельно стоящих зданий, административно-хозяйственных помещений, домов индивидуальной застройки и т.п. в самотечные коллекторы;

✓ районные – осуществляют транспортировку сточных вод от жилых микрорайонов из лежащих ниже коллекторов в лежащие выше;

✓ главные – перекачивают сточную жидкость, отводимую со всей территории города, на очистные сооружения.

В настоящее время при проектировании насосных станций водоотведения предусматривается строительство в едином комплексе с насосной станцией аварийно-регулирующих или аварийных резервуаров для сглаживания неравномерности притока сточных вод или обеспечения надежной работы системы водоотведения в аварийных ситуациях (отключение энергоснабжения насосных станций или создавшаяся аварийная обстановка на насосных станциях и др.).

Состав оборудования, его конструктивные особенности, тип, количество основного и вспомогательного оборудования определяется исходя из объема сточных вод, поступающих на насосные станции.

Конструктивные особенности насосных агрегатов обуславливаются составом перекачиваемой сточной жидкости, который характеризуется большим количеством крупных и мелких включений.

В насосных станциях помимо насосных агрегатов для перекачки сточных вод и других видов жидкостей устанавливаются решетки (решетки с ручной или механизированной очисткой, решетки-дробилки). Одним из важнейших элементов надежности работы насосных станций является запорно-регулирующая арматура: затворы, задвижки, обратные клапаны.

Для проведения монтажных, ремонтных и профилактических работ в надземной и подземной частях насосной станции устанавливаются грузоподъемные механизмы (кошки и тали, подвесные кран-балки, мостовые краны).

Для пуска, регулирования в процессе работы насосного агрегата и его остановки, а также для управления запорно-регулирующими устройствами, дренажным насосом и т.д. в надземной части в специальных помещениях монтируется энергетическое оборудование и оборудование для управления работой насосными агрегатами, запорной и регулирующей арматурой, а также щиты с контрольно-измерительными приборами и автоматикой (оборудование КИПиА).

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 требуется 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.

Предварительный экономический анализ реконструкции может производиться по соотношению укрупненных объемов строительных работ, устанавливаемого оборудования и основных параметров работы насосных станций (перекачиваемых расходов воды, создаваемых напоров и др.).

Поэтому в анализе состояния насосной станции в обязательном порядке должны быть установлены следующие данные: состояние строительных конструкций, особенно в подвальной части здания с уточнением ее водонепроницаемости; наличие и состояние системы вентиляции в помещении решеток, машинном зале и подсобных помещениях, наличие и состояние систем водоснабжения и канализации; наличие и состояние системы отопления; определение марки и типов установленных насосов и электродвигателей; уточнение их состояния; состояние всасывающих и напорных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры; наличие и состояние решеток на крупных станциях с определением состояния строительных конструкций зданий решеток, состояние и комплектность механизированных решеток, дробилок и другого подсобного оборудования; состояние электроосвещения, энергообеспечение насосной станции и степень ее автоматизации.

Реконструкцию насосной станции можно осуществлять следующими методами:

- заменой насосных агрегатов на более производительные современные;
- установкой современного оборудования пуска и регулирования работы насосными агрегатами (высокочастотные преобразователи);
- изменением технологической схемы работы насосной станции с полной перепланировкой подземной части (вся подземная часть, включая машинное отделение), переделывается в приемный резервуар с установкой погружных насосов;
- изменением технологической схемы работы насосной станции с полной перепланировкой подземной части и установкой погружных насосов с системой «плавного пуска» (частное регулирование) с новой системой КИПиА;
- изменением технологической схемы работы насосной станции с устройством регулирующего резервуара и включая все вышеперечисленные мероприятия.

На рис. 24 приведены схемы типовых проектных решений расположения насосных станций, применяемых для перекачки сточных вод в системах водоотведения.

Многообразие условий проектирования обуславливает применение разнообразных схем и конструкций насосных станций. Рассмотренными выше схемами станций не исчерпываются возможные их варианты. В зависимости от условий проектирования могут быть применены различные комбинации из описанных выше схем.

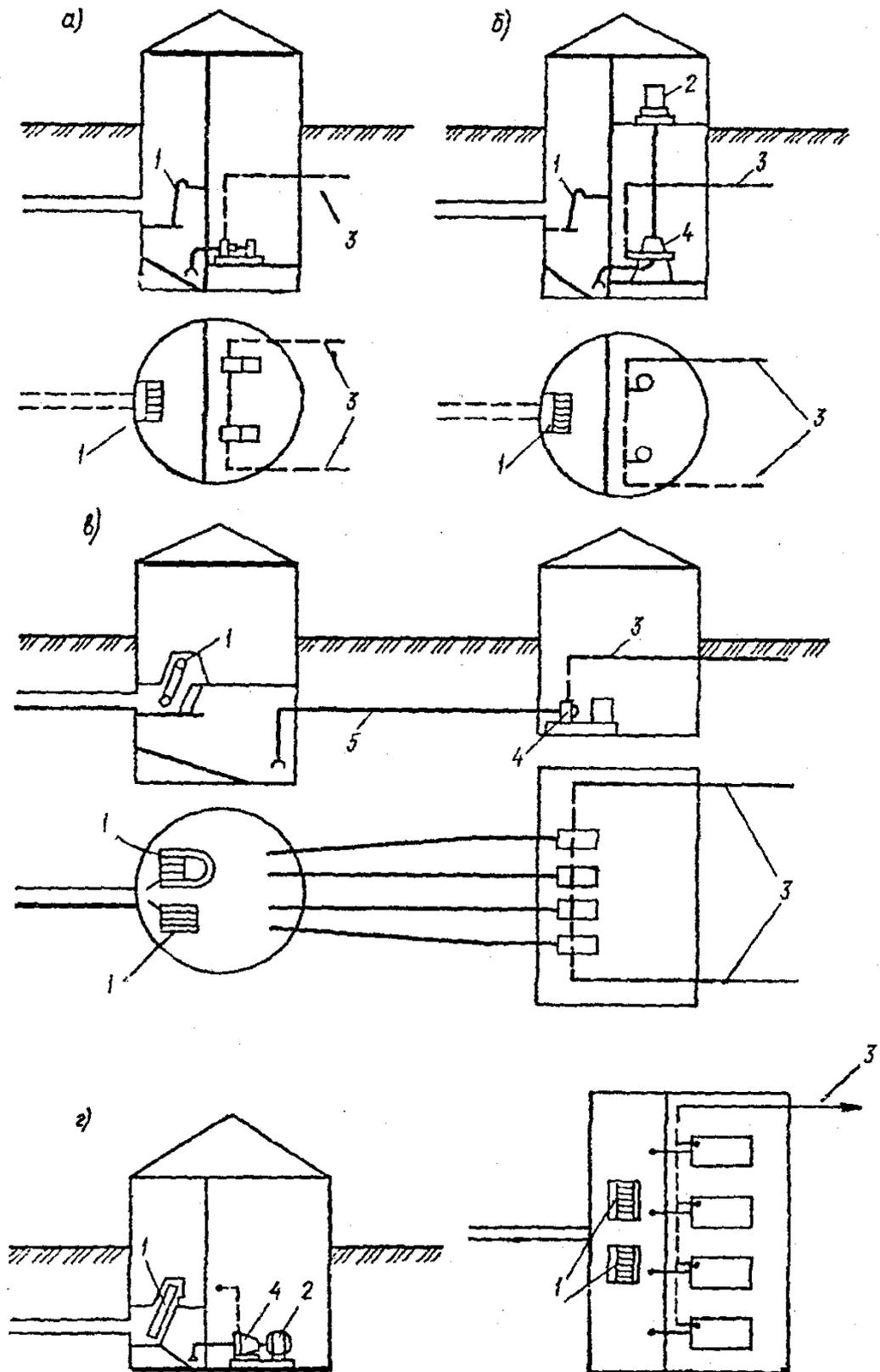


Рис. 24. Схемы насосных станций:  
*а, б* – шахтного типа соответственно с горизонтальными и вертикальными насосами; *в* – с отдельно стоящим приемным резервуаром; *г* – прямоугольная в плане; 1 – решетка; 2 – электродвигатель; 3 – напорный трубопровод; 4 – насос; 5 – всасывающий трубопровод

## 2. Обеспечение надежной работы напорных водоводов

Особое место в обеспечении надежности систем водоотведения занимают напорные трубопроводы, как наиболее уязвимые и функционально значимые элементы системы водоотведения, от надежной и эффективной работы которых во многом зависит состояние окружающей среды, развитие промышленности и инфраструктуры города.

Как показывает практика эксплуатации, нарушение надежной работы водоотводящих систем связано в основном с авариями (отказами) и повреждениями на линейной части системы, т.е. на участках напорных трубопроводов (НТ).

Основными причинами отказов трубопроводов напорной системы водоотведения в городах РФ являются: значительный износ и низкие темпы обновления труб; неправильный выбор материала и класса прочности труб для конкретных условий эксплуатации; интенсивная внешняя и внутренняя коррозия труб (не имеющих защитных покрытий и устройств электрозащиты); несоблюдение технологии производства работ; низкое качество материалов и труб, уложенных в период массового жилищного строительства в РФ.

Существовавшая долгие годы практика строительства инженерных коммуникаций была основана на нормативной базе, основным принципом которой была минимизация капитальных затрат и стоимости строительно-монтажных работ.

Именно по этим причинам значительная часть напорных трубопроводов водоотводящих систем крупных городов РФ (в том числе и Москвы) проложена из стальных труб, изготовленных из наиболее дешевых марок стали и не имеющих, как правило, защиты от внешней и внутренней коррозии. Поэтому к надежности функционирования трубопроводов системы водоотведения города в настоящее время предъявляются особо высокие требования. Нарушения работы участков напорных водоотводящих трубопроводов, препятствующие нормальному выполнению заданных функций водоотведения, обуславливаются различными случайными событиями. Единственным путем оценки возможности появления таких событий, закономерностей их возникновения и повторения являются сбор и обработка статистических сведений по эксплуатации напорных трубопроводов водоотводящих систем.

Эти сведения позволяют установить численно вероятность возникновения случайных событий, которые могут привести к отказу участка трубопровода и нарушению нормального функционирования водоотводящей сети в целом.

Статистические исследования надежности напорных трубопроводов ряда городов РФ показали, что в качестве математической модели, описывающей закон распределения потока отказов и времени восстановления трубопроводов, может быть принят экспоненциальный закон распределение Пуассона.

При этом вероятность возникновения  $n_i$  отказов участков трубопроводов за время  $t$  определяется по выражению

$$P_n(t) = \frac{(w(t) \cdot t)^n}{n_i} \cdot e^{-w(t)t}, \quad (5)$$

где  $w(t)$  – параметр закона Пуассона, равный среднему числу отказов участка трубопровода в единицу времени;  
 $e$  – основание натурального логарифма.

При экспоненциальном распределении времени между отказами участка трубопровода длиной  $l$  оценка величины наработки на отказ  $T$  может быть получена из выражения

$$T = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt = \frac{1}{w(t) \cdot l}. \quad (6)$$

Время восстановления участков трубопроводов является важнейшим показателем надежности трубопроводов, который характеризует работу аварийно-восстановительных бригад. При наличии достаточных статистических данных о фактическом времени восстановления участков трубопроводов среднее время восстановления  $t_e$  определяется по формуле

$$t_e = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ei}}{n_i}, \quad (7)$$

где  $t_{ei}$  – продолжительность восстановления  $i$ -го участка напорного трубопровода;  
 $n$  – число отказов.

Значимость и практическое использование результатов статистических оценок времени восстановления участков напорных трубопроводов определяются возможностью оценки вероятности их восстановления за определенное время. Исходя из этого можно оценить работу и достаточность оснащения ремонтно-восстановительных бригад, ремонтпригодность трубопроводов, совершенствовать нормы технического обслуживания трубопроводов.

Среднее значение длительности аварийного простоя участка напорного канализационного трубопровода  $\gamma$  представляет собой произведение среднего времени восстановления участка  $t_{ei}$  на среднее число  $n(t)$  его отказов за этот период времени:

$$\gamma = n(t) \cdot t_{ei}. \quad (8)$$

Для оценки интенсивности отказов участков стальных напорных трубопроводов Московской водоотводящей сети в зависимости от диаметра труб ( $D$ ) аналитическое выражение имеет вид:

$$w = 8,86 \cdot D^{-0,9}, \quad (1/\text{Г} \cdot \text{км}). \quad (9)$$

Оценка и контроль этой величины позволяют фиксировать уровень надежности, соответствующий существующему техническому состоянию трубопроводов, организации их технического обслуживания и интенсивности обновления, и определить трубопроводы, имеющие наибольший риск возникновения аварий. Наиболее частой причиной аварий на стальных напорных трубопроводах системы водоотведения являются свищи, что вызвано внутренней и особенно наружной коррозией труб, эксплуатируемых длительное время (рис. 25).

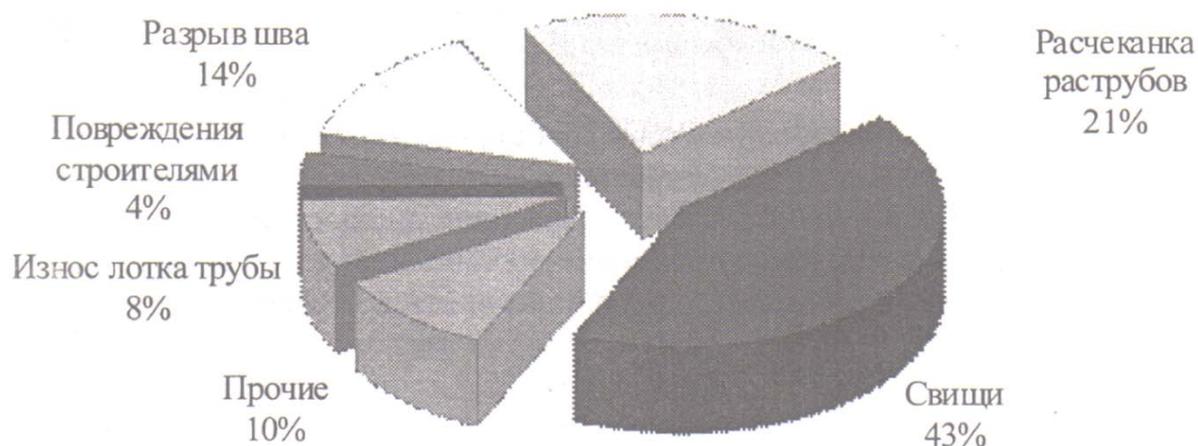


Рис. 25. Основные причины отказов напорных трубопроводов

С увеличением длительности эксплуатации возрастает риск отказов напорных трубопроводов водоотведения. Анализ влияния факторов, дестабилизирующих надежность участков напорных трубопроводов, позволяет их систематизировать по трем группам.

Первая группа факторов связана с технологией изготовления труб. Для стальных труб заводскими дефектами являются металлургические дефекты в стенках труб, закаты, расслоения, трещины. Сварочные заводские дефекты возникают в продольных стыках труб в тех случаях, когда нарушается технология сварки или применяются некондиционные материалы.

Вторая группа факторов связана со строительством трубопроводов и заключается либо в неотработанной технологии укладки труб, либо в нарушении строителями требуемой технологии. В стальных трубопроводах это проявляется в переломах труб, нарушении сварных соединений и т.д.

Третья группа факторов определяется условиями функционирования и эксплуатации трубопроводов. К этой группе могут быть отнесены следующие факторы, которые по степени их влияния на уровень надежности трубопроводов могут быть ранжированы в последовательности: диаметр трубопровода, наличие и качество изоляции, материал труб, возраст трубопровода, наличие блуждающих токов, грунтовые условия.

### 3. Регулирующие резервуары

Перспективным направлением реконструкции насосных станций является практическая реализация идеи «зарегулирования канализационного стока» для уменьшения коэффициента неравномерности притока сточных вод на очистные сооружения. В идеальном случае строительство регулируемых водоотводящих систем состоит в том, чтобы обеспечить после створа регулирования равномерную загрузку очистных сооружений в течение любых часов суток.

Известно, что в общем случае коэффициент неравномерности ( $K_{н.общ}$ ), определяемый как отношение максимальной за год величины расхода к средней, имеет две составляющие: коэффициент суточной неравномерности ( $K_{н.сут}$ ) и коэффициент часовой неравномерности ( $K_{н.час}$ ).

$$K_{н.общ} = K_{н.сут} \cdot K_{н.час} \quad (8)$$

$K_{н.общ}$  определяется в соответствии с действующим СНиП,  $K_{н.сут}$  принимает значения от 1,20 до 1,35, в зависимости от производительности системы.

В 1990-е годы был разработан, построен и введен в эксплуатацию новый тип канализационного сооружения – *аварийно-регулирующий резервуар* (АРР), предназначенный для приема бытовых и производственных сточных вод при авариях, отказах на сооружениях и в часы пик. Использование регулирующих емкостей достаточного объема в составе водоотводящих систем (ВС) позволяет уменьшить значение коэффициента суточной неравномерности за счет снижения численного значения коэффициента часовой неравномерности до 1.

Особенно эффективно использование АРР либо в составе реконструируемых водоотводящих сетей, либо в составе очистных сооружений, так как увеличивается коэффициент использования существующих основных фондов сетей и сооружений водоотведения.

При необходимости увеличения пропускной способности существующих систем водоотведения использование традиционных способов, таких, как строительство каналов, насосных станций (НС), водоводов, очистных сооружений, требует в некоторых случаях пятидесятикратно больших затрат, чем строительство АРР.

На рис. 26 представлена принципиальная схема расположения АРР относительно насосной станции. Создание нового структурного элемента канализационной системы НС и АРР позволяет осуществлять прием сточных вод в часы пик в АРР от напорных водоводов НС и последующее самотечное опорожнение АРР в ночное время или в то время, когда это возможно.

В основе инженерного решения НС и АРР приняты: рассредоточенная система подачи сточных вод в АРР через эжекторы с коническим насадком, расположенным под углом к горизонту, определяемым расчетом; лотковая

часть дна АРР имеет уклон в сторону опорожнения, при котором обеспечивается самоочищающая скорость смыва осадка сточных вод.

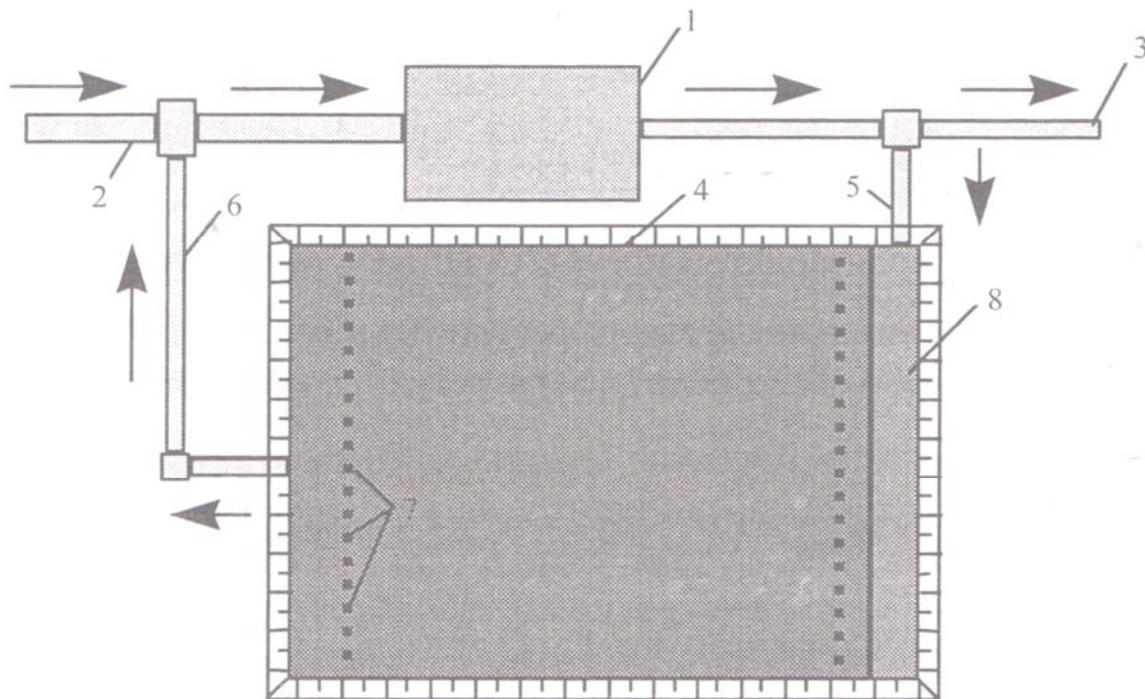


Рис. 26. Схема расположения АРР относительно НС:

- 1 – насосная станция перекачки сточных вод (НС); 2 – подводящий канал к НС;  
 3 – напорный водовод от НС; 4 – регулирующая емкость АРР; 5 – труба,  
 соединяющая напорный водовод от НС с АРР; 6 – труба, соединяющая  
 АРР с подводящим каналом НС; 7 – фильтры-поглотители  
 для газовой смеси; 8 – галерея задвижек АРР

Подача сточных вод в АРР от напорных водоводов НС осуществляется через эжекторы с коническим насадком, вследствие чего происходит смешение стоков с воздухом в количестве 15-20% расхода воды и достигается равномерная гидравлическая нагрузка на любую секцию лотковой части дна за счет диспергирования струи, выбрасываемой из конического насадка. Наличие растворенного кислорода в сточной воде за время пребывания ее в АРР исключает процессы гниения и выделения из нее дурно пахнущих веществ. Скорость потребления растворенного в сточной воде кислорода следует принимать 3-5 г/м<sup>3</sup>час. Интенсивное выделение из сточной воды сероводорода начинается при уменьшении содержания в ней растворенного кислорода до 0,1 г/м<sup>3</sup>. Рассредоточенная система подачи сточных вод в АРР обеспечивает гибкость технологии в режимах подачи сточных вод в АРР, его опорожнения и организации смыва осадка из лотковой части дна АРР.

Основными расчетными параметрами водоотводящей системы, в состав которой входят НС и АРР, являются: приращение производительности ВС, в створе регулирования и в последующих после створа регулирования

элементах ВС; величина требуемого регулирующего объема АРР; расчетные расходы для систем подачи и опорожнения АРР; диаметры коммуникаций систем подачи сточных вод в АРР и его самотечного опорожнения; диаметр и количество лотков в одной секции лотковой части днища АРР и уклон лотков в сторону опорожнения; параметры переливного устройства АРР; высотная схема АРР относительно подводящего канала НС; количество фильтров-поглотителей; количество и конструктивные размеры эжекторов с коническим насадком рассредоточенной системы подачи сточных вод в АРР; диаметры воздушных труб, через которые обеспечивается засасывание воздуха при подаче сточных вод в АРР через эжекторы с коническим насадком (обычно принимается 0,5 диаметра подающей в АРР трубы).

Гидравлический расчет совместной работы насосов НС, водоводов и рассредоточенной системы подачи сточных вод в АРР рекомендуется осуществлять в графоаналитической форме.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите основные причины, по которым возникает необходимость в реконструкции КНС.
2. Какие методы реконструкции КНС вы знаете?
3. Расскажите об основных причинах отказа напорных водоводов КНС.
4. В чем заключается метод реконструкции КНС с использованием регулирующих резервуаров?

## Лекция №9

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

1. Реконструкция решеток.
2. Реконструкция песколовков.
3. Реконструкция отстойников.

### 1. Реконструкция решеток

Решетки предназначены для задержания содержащихся в сточных водах крупноразмерных (более 1 см) отбросов, которые являются отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности (остатки пищи, упаковочные материалы, бумага, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные, волокнистые материалы и др.).

В процессе транспортирования по водоотводящим сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры, а образующийся на поверхности отбросов слой органических и других загрязнений способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц, что приводит к формированию многокомпонентных крупноразмерных органоминеральных составляющих отбросов. Осредненная плотность органоминеральных составляющих близка к плотности воды, что облегчает последующий перенос песка на крупноразмерных частицах через решетки и песколовки.

В конечном счете песок выпадает в осадок в первичных отстойниках, что затрудняет выгрузку осевшего осадка, его перекачку по илопроводам и выгрузку сброженного осадка из метантенков. Кроме того, легкие плавающие отбросы, проходя через отстойники, усложняют работу сооружений доочистки или выносятся с очищенными сточными водами в водоемы, что является недопустимым.

Эффективное удаление крупноразмерных загрязнений из сточных вод при их прохождении через решетки позволит обеспечить нормальную эксплуатацию песколовков, первичных отстойников, метантенков, трубопроводов и каналов подачи осадков на метантенки, в цеха механического обезвоживания или на иловые площадки.

Решетки являются первым элементом всех технологических схем очистки сточных вод. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками.

В процессе длительной эксплуатации механизированных решеток на очистных сооружениях водоотведения были выявлены следующие недостатки в их конструкции:

- 1) недостаточная продольная и поперечная жесткость фильтровальных пластин;
- 2) непродолжительный ресурс работы подшипниковых узлов механизма;

3) непродолжительный ресурс работы пластмассовых накладок.

Грабли располагаются перед решеткой со стороны потока вод. Некоторый период времени при проектировании очистных сооружений считалось, что основной функцией сорозадерживающих решеток являлась защита механического оборудования и трубопроводов от засоров, поэтому решетки упомянутой конструкции соответствовали этому требованию.

Новые технологии и механизмы очистки воды и обработки осадков вызвали ужесточение требований водоохранных нормативных актов о недопустимости засорения водотоков-приемников очищенных сточных вод, кроме того, технологическая эффективность решеток перестала удовлетворять этим условиям. Положение усугублялось тем, что в процессе эксплуатации возникала недопустимая деформация стержней решетки в поперечном направлении, что изменяло величину прозоров в диапазоне от 2-5 до 40-45 мм, что соответственно ухудшало эффективность сорозадержания.

В задачу повышения эффективности задержания многокомпонентных крупноразмерных органоминеральных составляющих сточных вод входит разработка новых совершенных сорозадерживающих решеток. Эта задача заключается в следующем:

1. Максимально возможное извлечение из сточных вод грубодисперсных механических примесей (ГДМП).
2. Обеспечение надежной регенерации процеживающего элемента (решетки) от задержанного шлама.
3. Необходимость сохранить сложившиеся планировочные решения и высотную схему очистных сооружений.

Рассмотрим некоторые случаи реконструкции решеток на примерах крупнейших московских станций аэрации.

При разработке проектов предусматривается, что шлам с решеток подвергается дроблению и вместе с осадком первичных отстойников направляется на обработку в метантенки.

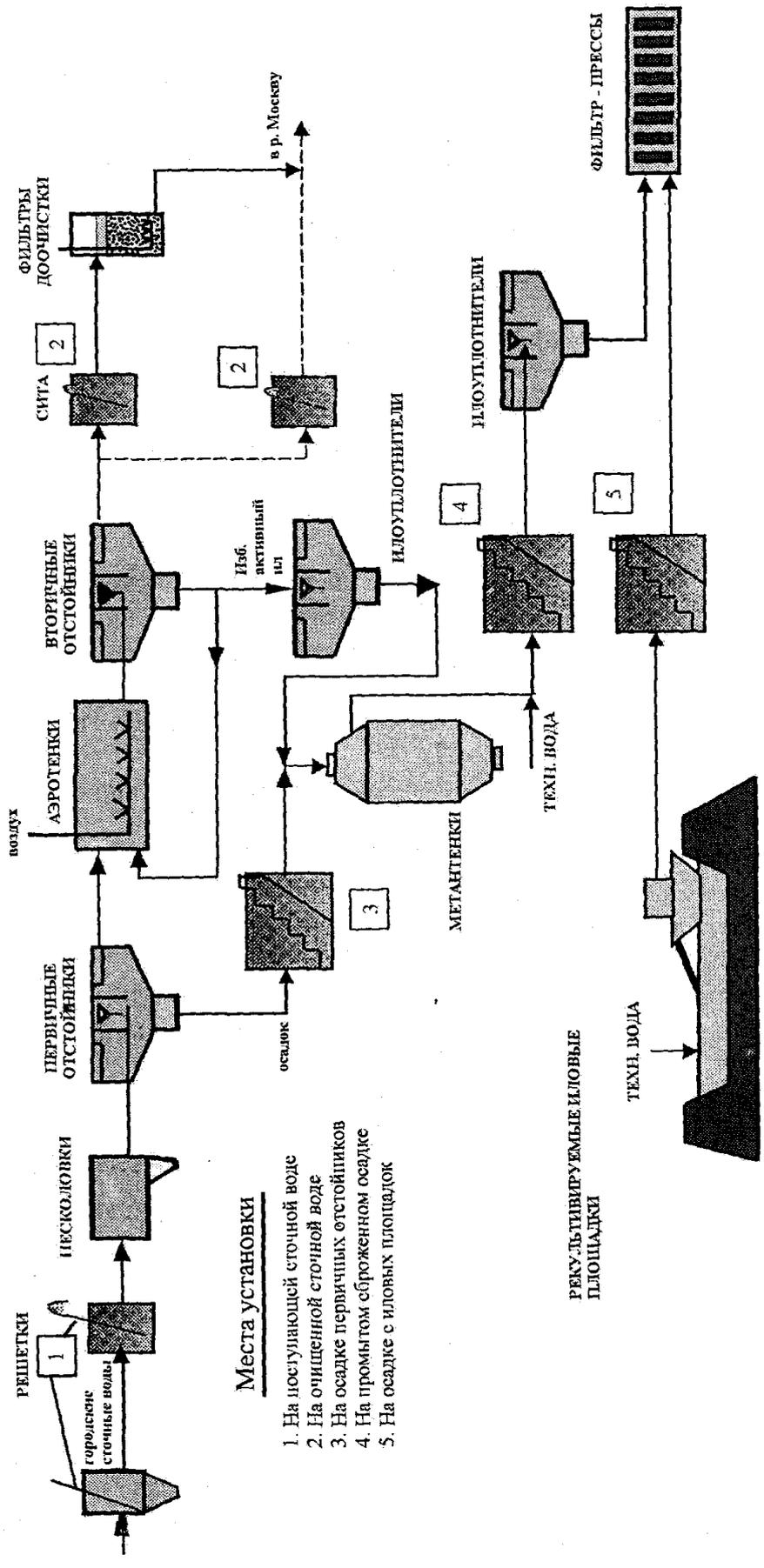
Для защиты метантенков от ГДМП возможно процеживание осадка первичных отстойников через решетки ступенчатого типа. Такое решение наиболее приемлемо при реализации схемы самостоятельной подготовки осадка к сбрасыванию: процеживание – удаление песка – уплотнение.

Работу по подбору оптимальной конструкции решеток следует продолжать по двум направлениям:

- а) закупка и производственные испытания прогрессивных образцов решеток из мирового парка этих механизмов;
- б) разработка и производство на базе имеющегося опыта эксплуатации усовершенствованной решетки отечественного производства.

От надежности и эффективности работы сорозадерживающих решеток зависит работа всех последующих сооружений и механизмов на станции аэрации.

На рис. 27 показана перспективная технологическая схема установки решеток и сит на примере станции аэрации.



**Места установки**

1. На поступающей сточной воде
2. На очищенной сточной воде
3. На осадке первичных отстойников
4. На промытом сброженном осадке
5. На осадке с иловых площадок

Рис. 27. Перспективная схема установки решеток и сит на станциях аэрации

В соответствии с этой схемой введение дополнительных решеток и песколовков грубой очистки позволяет создать наиболее благоприятные условия эксплуатации расположенных за ними мелкопрозрачных решеток и песколовков, рассчитанных на удержание самых мелких фракций песка (0,07-0,1 мм), и, как следствие, обеспечить оптимальные условия удаления осадка из первичных отстойников и его перекачки на обработку.

## 2. Реконструкция песколовков

Сточные воды после решеток содержат значительное количество нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.). Песколовки предназначены для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей, главным образом песка. Применение песколовков, то есть раздельная очистка сточных вод от минеральных и органических примесей, обусловлено тем, что при совместном их выделении в отстойниках возникают значительные затруднения при удалении осадка из отстойников и дальнейшей его обработке. Песколовки следует предусматривать во всех случаях, когда в состав очистных сооружений входят отстойники.

Песколовки представляют собой сооружения непрерывного действия, рассчитанные таким образом, чтобы в них выпадал и песок, и другие тяжелые минеральные частицы, но не выпадал легкий осадок органического происхождения. По нормам, в песколовках должен задерживаться песок с гидравлической крупностью (скоростью выпадения) 18,7-24,2 мм/с с обеспечением выпадения его не менее 65% от содержащегося в сточных водах.

Песколовки подразделяются по направлению движения воды на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости (на тангенциальные и аэрируемые).

Горизонтальные песколовки представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением. Другими важнейшими элементами песколовков являются: входная часть песколовки, представляющая собой канал, ширина которого равна ширине самой песколовки; выходная часть, представляющая собой канал, ширина которого сужена от ширины песколовки до ширины отводящего канала; бункер для сбора осадка, обычно располагаемый в начале песколовки под днищем.

Необходимо обратить внимание на следующее оборудование: механизм для перемещения осадка в бункер, гидроэлеваторы и насосы для удаления осадка из песколовки и транспорта его к месту обезвоживания или другой обработки. Осадок в бункера может перемещаться с помощью гидромеханических систем.

Вертикальные песколовки успешно эксплуатируют на ряде очистных станций. Они имеют цилиндрическую форму, а подвод воды – по касательной с двух сторон в основании. Конусная часть служит для сбора выпавшего

осадка. Сбор и отвод воды осуществляют кольцевым лотком. При вертикальном движении воды вверх песок осаждается вниз. Следовательно, скорость восходящего потока жидкости должна быть меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка, т.е.  $v < u_0$ .

Вертикальные песколовки удобны для накопления больших объемов осадка. Их целесообразно применять в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод.

Наиболее эффективно работающие тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане и касательный подвод воды к ним, что обеспечивает в песколовках вращательное движение (на периферии вода движется вниз, а в центре – вверх). Оно способствует поддержанию в потоке органических примесей. В ней интенсифицируется вращательное движение жидкости, что способствует улавливанию песка с минимальным содержанием органических включений.

Рассмотрим основные недостатки существующих песколовков:

1. Песколовки всех упомянутых выше типов, рассчитанные на задержание фракций песка  $D = 0,2-0,25$  мм, как это рекомендуется действующими СНиП, не могут обеспечить содержание песка в осадке первичных отстойников менее 5%, что необходимо для нормальной работы последующих сооружений.

2. Высокая эффективность задержания песка расчетных фракций и большое содержание в исходной воде песка с диаметром меньше расчетной фракции свидетельствуют о том, что исходя из условия достижения его концентрации в осадке первичных отстойников менее 5% расчет песколовков необходимо производить на удаление песка фракции 0,1 мм, а не 0,2– 0,25 мм, как это предусмотрено действующим СНиП.

3. Аэрируемые песколовки в сравнении с вертикальными и тем более горизонтальными не обеспечивают необходимого качества пескового осадка и уступают последним по эффективности задержания песка, кроме того, стоимость строительства аэрируемых песколовков из-за их большой глубины значительно выше, чем традиционных горизонтальных.

Отмеченные недостатки песколовков на КСА происходят из-за того, что по действующим СНиП 2.04.03-85 за счет поддержания скоростей движения воды не менее задаваемого предела (0,3 м/с) при задержании песка в песколовках одновременно стараются получить песковой осадок с минимальным содержанием органики, что противоречит требованию уменьшения скорости для максимального осаждения песка.

В зарубежной практике отказались от стремления получить в песколовке песковой осадок с минимальным содержанием органики. Для максимального удаления песка время пребывания воды в песколовке следует назначать в пределах 15-30 мин, что подтверждается зарубежной практикой эксплуатации, т.е. песколовка работает как предварительный отстойник.

Поскольку увеличение длины песколовков во многих случаях нереально из-за невозможности размещения песколовков в существующие планировочные решения, то в этом случае следует интенсифицировать процессы очистки конструктивным нестандартным оборудованием.

Значительное влияние на эффективность улавливания песка оказывает полнота выгрузки задержанного в песколовке осадка, зависящая от надежности выгрузочных механизмов.

В 1980-х годах механическое перемещение осадка вдоль песколовки было заменено гидромеханическим, которое состояло из трубы диаметром 200 мм с 84 спрысками диаметром 10 мм каждый. Многолетняя эксплуатация этой системы также показала ее ненадежность, выразившуюся в систематическом засорении спрысков и накоплении песка на днище лотка в виде валиков.

Необходимо обратить внимание, что гидроэлеваторы, предназначенные для откачки пескового осадка из-за абразивного износа сопла и горловины, периодически выходили из строя.

При реконструкции выгрузку пескового осадка вместо гидроэлеватора можно производить грунтовым насосом типа ГРАТ, имеющим более высокий КПД (48-50%) по сравнению с гидроэлеватором (15-20%). Забор осадка из каждой песколовки к насосу производится подъемным оголовком, соединенным с всасывающей трубой насоса через шарнир, что позволяет осмотреть и очистить всасывающее отверстие оголовка, не опорожняая песколовки.

Песковой осадок с песковых площадок не может быть утилизирован или депонирован, так как содержит большое количество органических загрязнений и является опасным в бактериальном отношении. Для придания песковому осадку безопасных в санитарном отношении свойств необходима его обработка. В соответствии с технологической схемой реконструкции песковой осадок, выгружаемый из песколовков всех блоков, необходимо собирать в буфере-накопителе. Для обеспечения постоянства консистенции и расхода пульпы в дневную смену осадок из накопителя насосом через гидроциклон подается в шнековый пескопромыватель, а оттуда поступает на виброгрохот (сито) с прозорами 2 мм, где от песка отделяется крупная органика (семечки, косточки фруктов, кости и т.п.) и поступает в бункер-шламонакопитель. Песок из подгрохотного пространства через зумпф насосом подается в чан-пропариватель с мешалкой, где подвергается дезинфекции термическим методом. Обеззараженный песок дополнительно промывается водой, обезвоживается в шнековом промывателе и поступает в песковой бункер. Из бункеров шлам вывозится на свалку, а песок – на утилизацию. Промывные воды возвращаются в песколовку.

Многолетний статистический анализ работы песколовков показывает, что расчет песколовков следует производить на задержание песка крупностью фракции 0,1 мм, а не 0,15-0,25 мм, как это предусмотрено существующими нормативными требованиями.

Для обработки осадка песколовков может быть также принята одностадийная схема, которая заключается в отмывке пескового осадка от органических примесей методом гидравлической классификации, осуществляемой в напорных гидроциклонах ГЦР-500 и спиральных классификаторах КС1-12, с получением конечного продукта с зольностью 80-85% и влажностью около 30%.

### 3. Реконструкция отстойников

Отстаивание является самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод грубодиспергированных примесей с плотностью, отличной от плотности воды. Под действием силы тяжести частицы загрязнений оседают на дно сооружения или всплывают на его поверхность.

Относительная простота отстойных сооружений обуславливает их широкое применение на различных стадиях очистки сточной воды и обработки образующихся осадков. В зависимости от своего назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойные сооружения подразделяются на следующие: отстойники – первичные, вторичные и третичные (контактные резервуары); илоуплотнители; осадкоуплотнители.

Первичные отстойники располагаются в технологической схеме очистки сточных вод непосредственно за песколовками и предназначаются для выделения взвешенных веществ из сточной воды, что при достигаемом эффекте осветления 40-60% приводит также к снижению величины БПК в осветленной сточной воде на 20-40% от исходного значения.

Во избежание повышенного прироста избыточного активного ила в аэротенках и биопленки в биофильтрах остаточная концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде после первичных отстойников не должна превышать 100-150 мг/л. В зависимости от исходной начальной концентрации взвешенных веществ в сточной воде, составляющей 200-500 мг/л, осуществляется выбор наиболее рациональной технологии первичного осветления и требуемой продолжительности отстаивания.

Вторичные отстойники являются составной частью сооружений биологической очистки, располагаются в технологической схеме непосредственно после биоокислителей и служат для отделения активного ила от биологически очищенной воды, выходящей из аэротенков, или для задержания биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

Для технологических схем биологической очистки сточных вод в аэротенках вторичные отстойники в какой-то степени определяют также объем аэрационных сооружений, зависящий от концентрации возвратного ила и степени его рециркуляции, способности отстойников эффективно разделять высококонцентрированные иловые смеси.

Осадкоуплотнители. В зависимости от принятой схемы очистных сооружений уплотнению могут подвергаться осадки из первичных отстойников, избыточные активные илы, смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, флотационный шлам, осадки и илы после стабилизации.

Прирост активного ила зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных и растворенных (преимущественно органических) веществ и от эффективности работы первичных отстойников. Чем лучше работают первичные отстойники, тем меньше образуется избыточного активного ила.

Для интенсификации работы отстойников предлагаются следующие методы (рис. 28).

Обширные исследования, проведенные за последние годы в нашей стране и за рубежом, позволили разработать и испытать различные методы интенсификации процессов отстаивания сточных вод и уплотнения образующихся осадков. Однако из известных методов интенсификации первичного отстаивания наибольшее распространение для очистки городских сточных вод получили методы, связанные с использованием биофлокулирующих свойств избыточного активного ила и биопленки, имеющих в своем составе внеклеточные биополимеры, обуславливающие пространственное структурирование и биофлокуляцию клеточных образований.

Избыточный активный ил и биопленка представляют собой естественные биофлокулирующие добавки, образующиеся в процессе биологической очистки сточных вод. Использование их биофлокулирующих свойств целесообразно в качестве одного из самых экономичных методов физико-химического воздействия на формирование агломераций мелкодисперсной взвеси в процессе ее седиментации (осаждения).

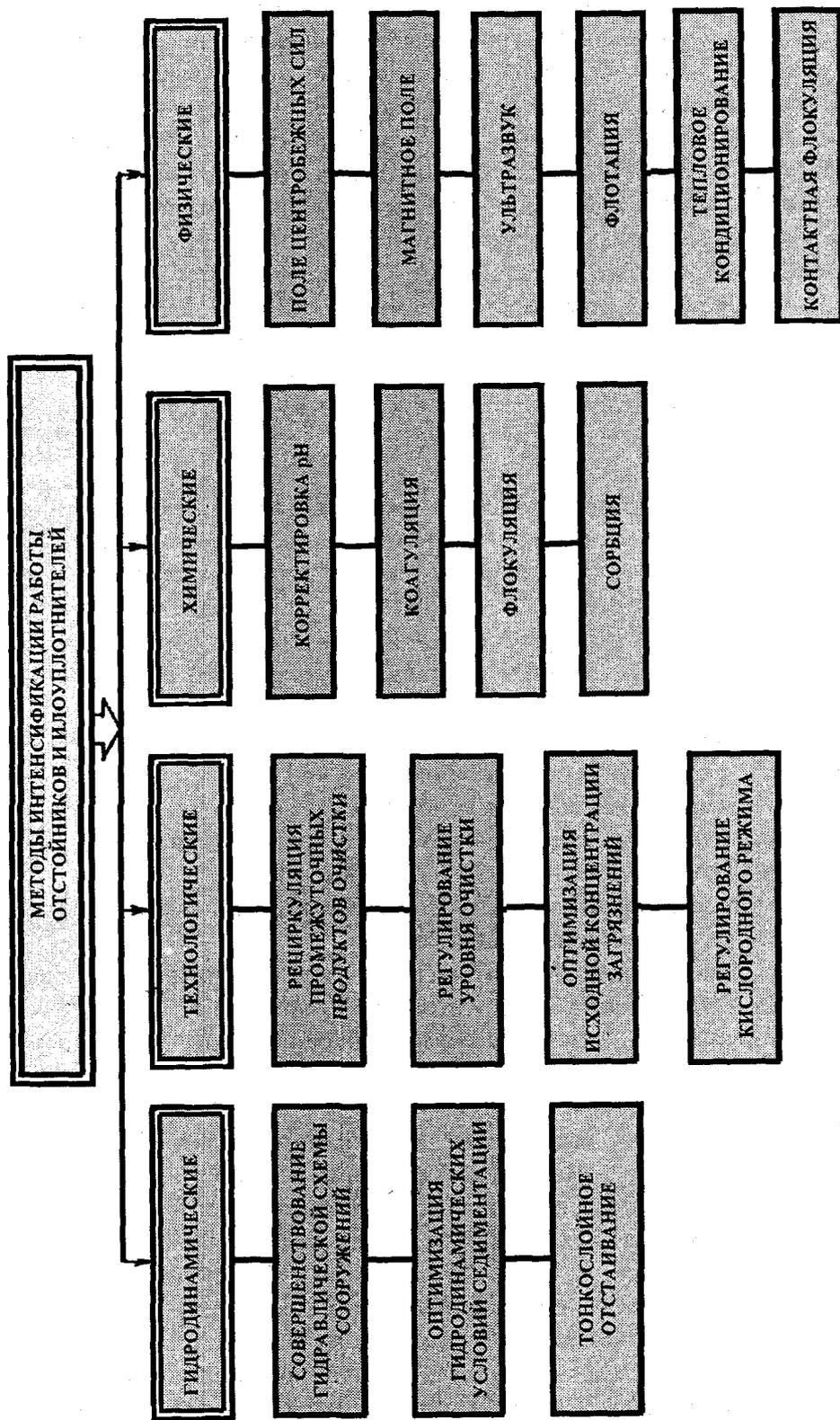


Рис. 28. Методы интенсификации работы отстойников и илоуплотнителей

Исследования в области изучения закономерностей процессов седиментации и гидродинамических условий ее реализации позволили разработать и оптимизировать технологию первичного осветления сточных вод с использованием избыточного активного ила как биофлокулянта, которая обеспечивает повышение эффективности осаждения веществ в любой сточной воде до 85-90% и снижение БПК в осветленной воде на 40-50%. Возможная схема реализации этой технологии в радиальном первичном отстойнике приведена на рис. 29.

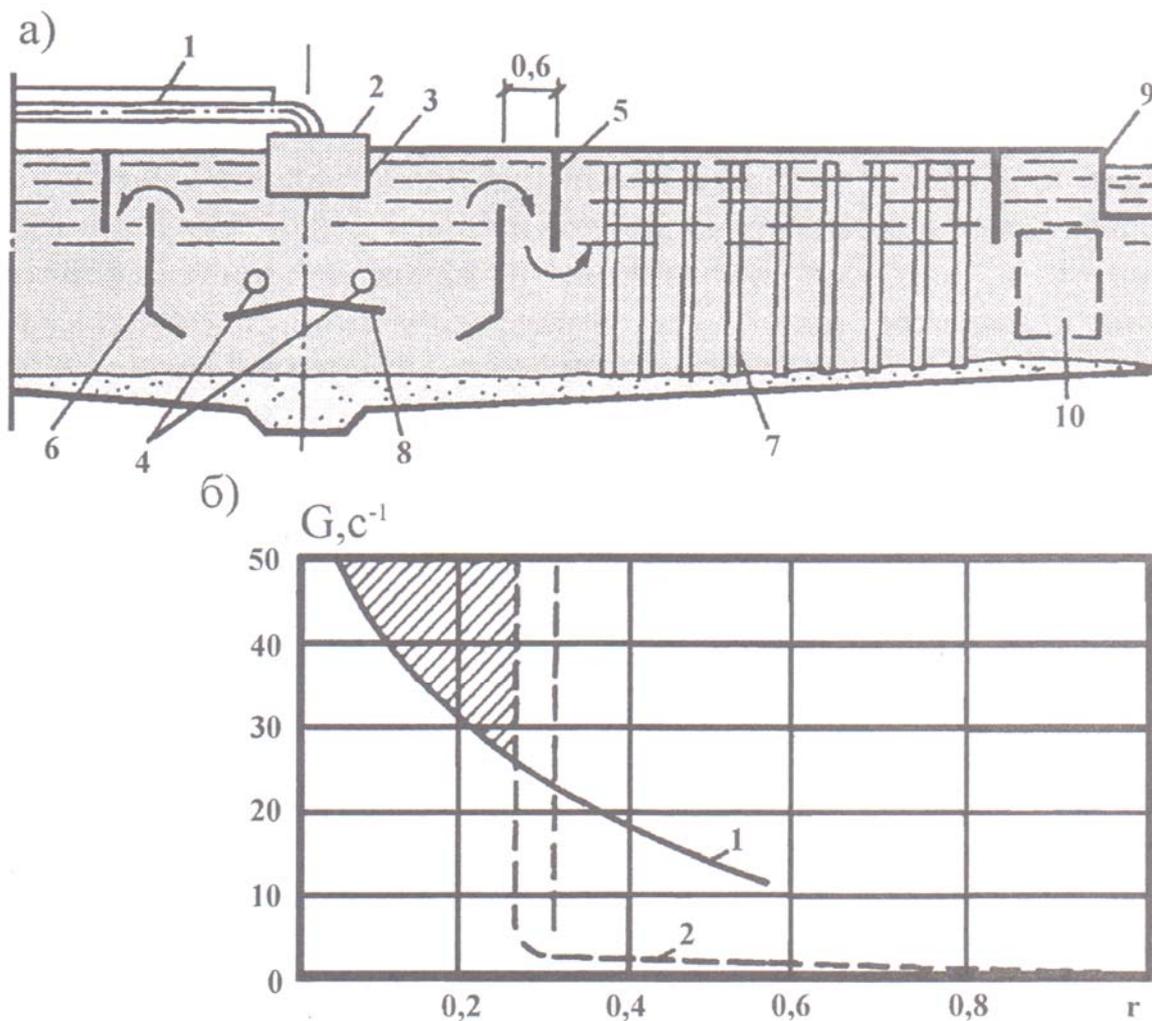


Рис. 29. Схема радиального отстойника с камерой биофлокуляции (а) и распределения градиентов скорости до (кривая 1) и после реконструкции (кривая 2) (б):  
 1 – подвод сточной воды и активного ила; 2 – распределительная камера;  
 3 – зона биофлокуляции; 4 – дырчатые аэраторы; 5 – полупогружная перегородка; 6 – затопленные перегородки; 7 – низкоградиентная мешалка; 8 – защитный зонт; 9 – сборный водослив;  
 10 – тонкослойные блоки перекрестной схемы

Размещенная в центральной части радиального отстойника зона биофлокуляции позволяет обеспечить при 20-минутном пребывании сточной воды эффективный контакт между частицами мелкодисперсной взвеси и активного ила.

Имеющийся гидродинамический потенциал входящего потока дополняется устройством аэратора в виде дырчатых труб, что в совокупности обеспечивает в зоне биофлокуляции необходимый градиент скорости перемешивания  $50-60 \text{ с}^{-1}$  (кривая *I*).

Из зоны биофлокуляции сточная вода проходит под перегородкой зоны воздухоотделения, где отделяются прилипшие пузырьки воздуха, способные в дальнейшем ухудшить условия седиментации.

В зоне осветления отстойника процесс седиментации стимулируется низкоградиентным перемешиванием, которое при  $G = 1-2 \text{ с}^{-1}$  обеспечивает оптимальные условия для осаждения взвешенных веществ и уплотнения образующегося осадка. Расположенные на периферии отстойника тонкослойные блоки перекрестной схемы осаждения осветляют воду на завершающей стадии, перед ее поступлением в сборный лоток. Многолетняя эксплуатация первичного отстойника, модифицированного по данной технологической схеме, показала его высокую эффективность как по задержанию взвешенных веществ – 60-80%, так и по снижению БПК в осветленной воде на 40-70% по сравнению с исходной. Однако тонкослойные блоки весьма материалоемки.

При оптимальных добавках активного ила 160-200 мг/л, соответствующих приросту избыточного активного ила, эффективность осветления по взвешенным веществам и БПК составляла соответственно 75-80% и 50-70%, при этом влажность смеси осадка и избыточного ила, выгружаемого из отстойника, составляла 96,0-96,5%.

Интенсификация работы первичных отстойников возможна также за счет применения непрерывной откачки выпадающего осадка с его последующим уплотнением в осадкоуплотнителе. Преимущества данной технологии заключаются в поддержании практически нулевого (не более высоты скребков) слоя осадка на днище отстойника и повышения тем самым эффекта осветления воды. Быстрое удаление выпадающего осадка, особенно при условии тщательной «зачистки» всего днища скребками, позволяет избегать так называемого залеживания осадка с его последующим анаэробным распадом и попаданием в осветляемую воду трудноосаждаемых продуктов разложения.

Необходимо совершенствовать конструкции устройств для удаления плавающих веществ с поверхности радиальных отстойников, наиболее распространенных на станциях аэрации. Качающиеся приемные бункера, затопливаемые при прохождении над ними фермы скребка и собирающие таким образом плавающие вещества, вместе со значительным количеством воды обеспечивали влажность удаляемой смеси порядка 97%.

### Контрольные вопросы

1. Какие недостатки в работе решёток на очистных сооружениях водоотведения являются наиболее распространёнными?
2. Расскажите о методах совершенствования работы решеток на очистных сооружениях канализации.
3. В чем заключаются особенности работы песколовков различных типов?
4. Перечислите основные недостатки в работе песколовков, какие способы устранения данных недостатков вы знаете.
5. В чем заключаются методы интенсификации работы канализационных отстойников?

# ЛЕКЦИЯ №10

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

1. Основные концепции реконструкции аэротенков.
2. Основные методы реконструкции биофильтров.

### 1. Основные концепции реконструкции аэротенков

Современный аэротенк представляет собой гибкое, но достаточно сложное в технологическом отношении сооружение. Аэротенки применяют для полной или частичной очистки коммунальных и производственных сточных вод в широком диапазоне концентраций загрязнений и расходов сточных вод.

Для обеспечения нормального функционирования аэротенков необходимо помимо сточной воды подавать активный ил и кислород (в виде обычного сжатого воздуха или обогащенную кислородом газовую смесь).

Условия интенсивной работы аэротенков обеспечиваются:

- величиной нагрузки по органическим загрязнениям на активный ил;
- дозой и величиной индекса активного ила;
- скоростью изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений;
- седиментационной способностью активного ила;
- обеспечением равномерной аэрации всего объема сооружения;
- соответствием параметрам, при которых протекают биологические процессы (рН, температура, наличие органических загрязнений в необходимом количестве и биогенных элементов).

Аэротенки условно можно классифицировать по следующим основным признакам (рис. 30).

Рассмотрим, не учитывая конкретные конструкции аэротенков, по известной классической схеме очистки сточных вод возможные варианты реконструкции сооружений и оборудования в зависимости от достижения необходимых показателей очищенной сточной воды.

### Секционирование аэротенков

Применение продольного секционирования аэротенков поперечными перегородками, не доходящими либо до дна (или чередующимися: не доходящими то до дна, то до уровня воды), либо до противоположной стены, значительно повышает эффективность работы аэротенков как по изъятию органических соединений, так и по снижению содержания аммонийного азота в очищенной воде (примерно до 3-5 мг/л).

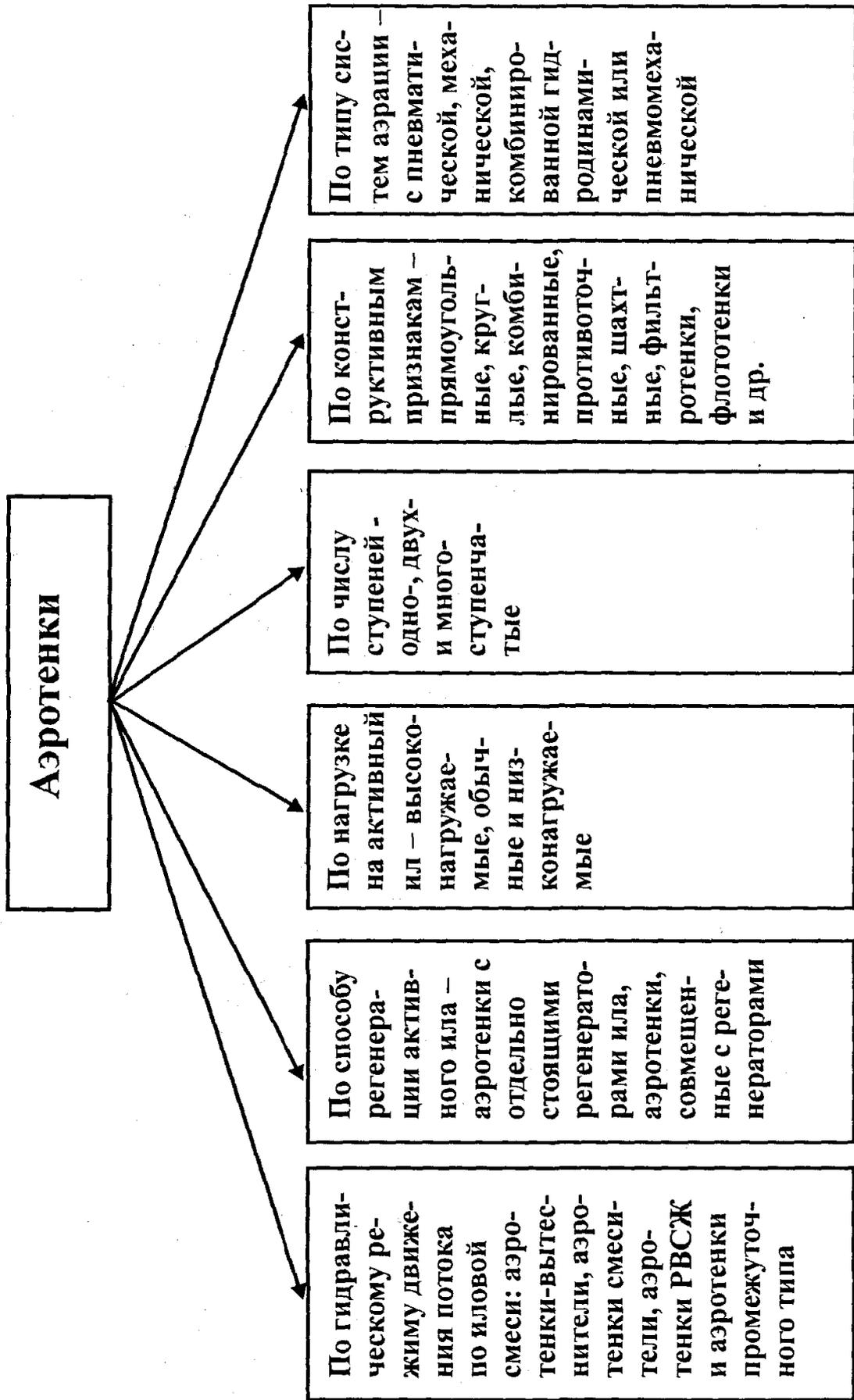


Рис. 30. Классификация аэротенков

Секционирование позволяет практически исключить продольное перемешивание иловой смеси в аэротенке и обеспечивает более полное приближение технологического режима работы аэротенка к режиму идеального вытеснителя и более строго поддерживать заданный режим аэрации в пределах каждой секции. Число таких секций принимается по рекомендациям чисто практического характера и подтверждается расчетом аэротенков-вытеснителей.

Существенные отличия от классической схемы биологической очистки в аэротенках имеют модификации, которые приближают работу аэротенков к стадийности биологического процесса очистки или создания в них одинаковых по объему или по длине аэротенка условий с точки зрения нагрузки на активный ил или кислородного режима.

На рис. 31 приведён пример реконструкции способом продольного секционирования аэротенков.

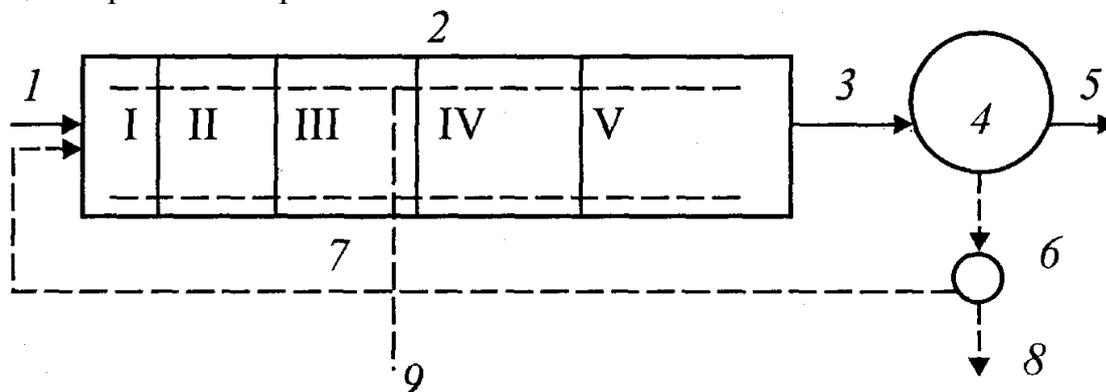


Рис. 31. Реконструкция аэротенка продольным секционированием: 1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7 – циркуляционный активный ил; 8 – избыточный активный ил; 9 – воздух из воздуходувок

### **Реконструкция аэротенков с использованием прикрепленных биоценозов**

Перспективным направлением повышения дозы ила в аэрационном сооружении является использование нейтральных носителей для образования на них фиксированной микрофлоры. В этом случае в аэротенке поддерживаются два вида микробиальных культур: свободно плавающая, представляющая собой активный ил в обычном его понимании, и прикрепленная к носителю.

В качестве носителей микрофлоры используются как плавающие, так и фиксированно установленные насадки из различных материалов различной формы, позволяющие значительно увеличить дозу ила в аэротенке. К таким материалам можно отнести пластмассовый шнур (или веревку), устанавливаемый в аэротенке в виде сетей определенного плетения, свободно плавающие губки различной формы с пористостью около 97% с внутренней и внешней поверхностью, способствующей прикреплению биомассы. В

аэрационной зоне этот плавающий материал (плотность его близка к 1) удерживается с помощью проволочных сеток, предотвращающих его вынос в отстойные сооружения. В отечественной практике разработаны сетчатые насадки из синтетических материалов фирмами «Экополимер», «Этек», «Грин Фрог», «Комплект-экология» и др.

Использование прикрепленной биомассы в аэротенках требует проведения эксплуатации, отличающейся от эксплуатации аэротенков со свободноплавающим активным илом. Прежде всего это заключается в том, что в сточной воде присутствуют волокнистые включения, нитки и волосы, которые могут прикрепляться к загрузке и тем самым закрывать свободный проход воды через загрузочный материал. Чтобы обеспечить эффективную эксплуатацию сооружений с прикрепленной микробиальной массой, рециркуляционный активный ил должен пройти предварительную очистку от волокнистых частиц в мелкопрозорчатых решетках, а сама загрузка должна периодически регенерироваться интенсивной продувкой воздухом.

Значительный интерес представляет собой процесс очистки сточных вод в аэротенках с прикрепленными микробиальными биоценозами без возврата активного ила. Использование этого метода было осуществлено кафедрой водоотведения МГСУ в 60-х годах XX века.

На рис. 32 показан вариант реконструкции аэротенка с прикрепленной микробиальной массой.

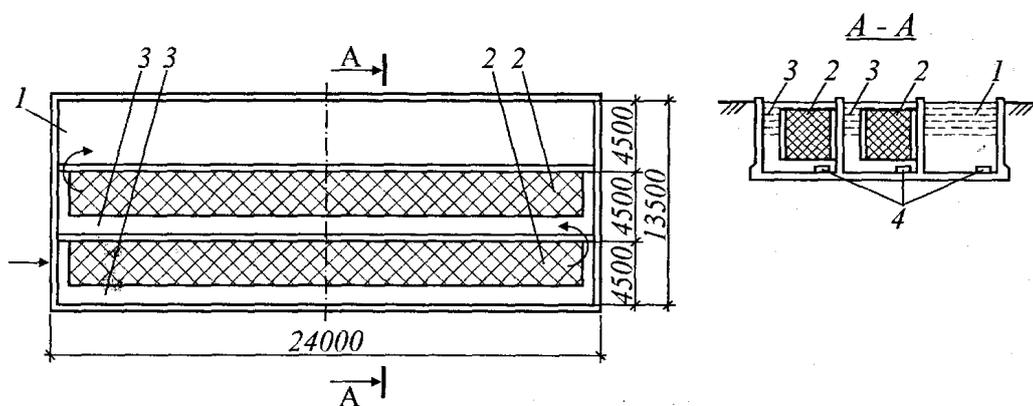


Рис. 32. Схема реконструкции трехкоридорного аэротенка с прикрепленной микробиальной массой:  
1 – регенератор; 2 – погружные плоскостные модули;  
3 – аэротенк, 4 – фильтровые пластины

### Реконструкция аэротенков с изменением технологической схемы работы станции аэрации

Большое количество типов и конструкций аэротенков, а также разнообразие технологических схем очистки сточных вод дает возможность, в зависимости от поставленной конечной цели реконструкции, изменять технологическую схему очистки сточных вод на станциях аэрации.

Реконструкция технологической схемы работы аэротенков должна носить комплексный характер. Таким образом, современная станция

аэрации должна не только работать по современным технологиям, но и иметь соответствующее оборудование и систему АСУ ТП. На рис. 33 приведен один из примеров изменения традиционной технологической схемы работы аэротенков в схему их работы по одноиловой системе денитрификации.

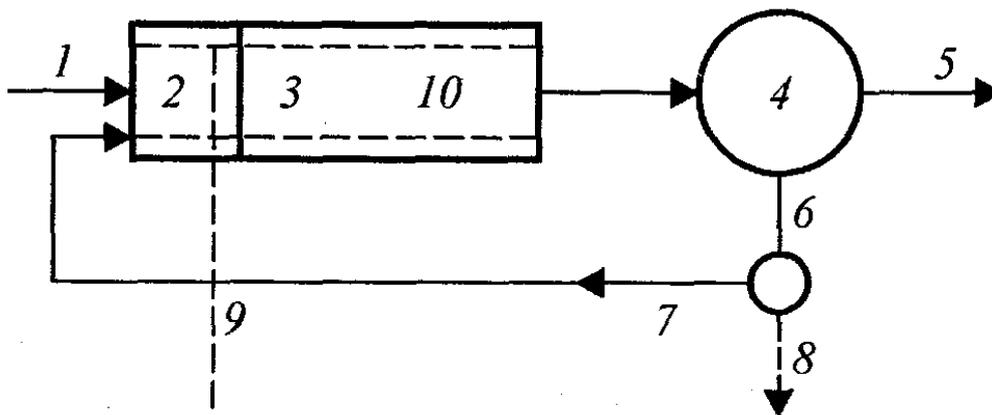


Рис. 33. Пример реконструкции аэротенков изменением технологической схемы работы:

- 1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк;
- 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода;
- 6 – иловая камера; 7 – циркуляционный активный ил;
- 8 – избыточный активный ил; 9 – воздух из воздуходувок;
- 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

Реконструкция технологической схемы аэротенков зависит от характера сточных вод (хозяйственно-бытовые, производственные или смесь сточных вод) и степени их загрязнения органическими веществами, взвешенными веществами и биогенными элементами и т.д.

## 2. Основные методы реконструкции биофильтров

На очистных сооружениях небольшой производительности биологическая очистка, как правило, осуществляется в биофильтрах.

По конструктивному устройству биофильтр – достаточно простое сооружение и состоит из резервуара (круглого или прямоугольного в плане); фильтрующей загрузки; водораспределительного устройства; дренажного устройства; вентиляционного устройства.

Биофильтры классифицируются по конструктивным особенностям сооружения и виду загрузочного материала. Основное предназначение биофильтров – очистка хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод.

На рис. 34 приведена классификация биофильтров по видам загрузочного материала.



Рис. 34. Классификация биофильтров по видам загрузочного материала

Рассмотрим, не учитывая конструкцию биологического фильтра, за исключением погружных биофильтров и комбинированных сооружений, основные методы их реконструкции в зависимости от достижения необходимых показателей очищенной сточной воды.

### Замена загрузочного материала

(с увеличением или без увеличения слоя загрузочного материала)  
и изменение конструкции биофильтра

Например, биологические схемы можно реконструировать по следующей схеме (рис. 34).

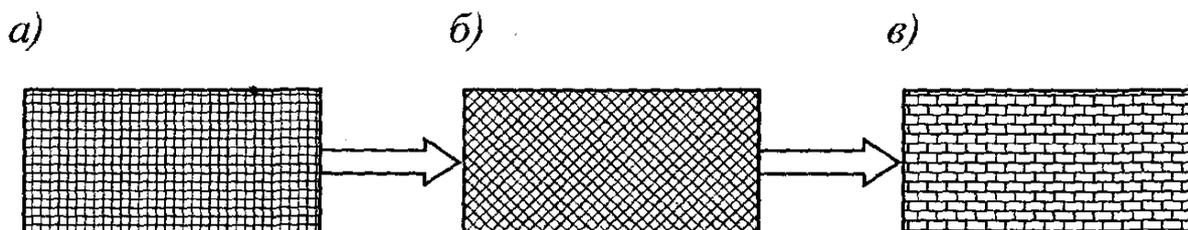


Рис. 34. Общая схема реконструкции биологических фильтров:  
а – капельный биофильтр; б – высоконагружаемый биофильтр;  
в – биофильтр с плоскостной загрузкой

Капельный биофильтр можно реконструировать в высоконагружаемый или в биофильтр с плоскостной загрузкой, но высоконагружаемый биофильтр можно реконструировать только в биофильтр с плоскостной загрузкой.

Для биофильтров с объемной загрузкой при замене загрузочного материала возможны два варианта:

1-й вариант – реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый.

Для этого необходимо увеличить высоту слоя загрузочного материала минимум до 2-3 м, установить низконапорные вентиляторы; подвести воздухопроводы к окнам в междудонном пространстве; установить в каналах на выходе из биофильтров гидравлические затворы для предотвращения утечки воздуха в атмосферу.

Пропускная способность биофильтра будет увеличена в 1,5-2,5 раза.

2-й вариант – реконструкция биофильтра с объемной загрузкой в биофильтр с плоскостной загрузкой. При этом интенсифицировать работу биофильтров с объемной загрузкой можно тремя способами:

- перегрузить одну из секций биофильтров с заменой гравийной загрузки на плоскостную. Высота слоя загрузочного материала при этом не увеличивается;

- перегрузить половину секции биофильтра с заменой гравийной загрузки на плоскостную при увеличении высоты слоя до 4 м;

- перегрузить часть секции биофильтра с заменой гравийной загрузки на плоскостную и увеличением высоты ее слоя до 4 м и более.

При замене объемного загрузочного материала на плоскостной необходимо принимать во внимание, что оптимальная высота слоя загрузки в биофильтрах с плоскостной загрузкой должна быть не менее 3-4 м. На рис. 35 приведены эти три возможных способа реконструкции биофильтров с объемной загрузкой при замене на плоскостной загрузочный материал.

Во всех вариантах биофильтр с плоскостной загрузкой является первой ступенью биологической очистки, на второй ступени очистки остается биофильтр с объемной загрузкой. Вторая ступень биологической очистки должна обеспечить очистку сточных вод до требуемых показателей. Дополнительно для подачи сточной воды на вторую ступень очистки необходимо устройство насосной станции.

Вариант реконструкции сооружений без увеличения высоты слоя при загрузке биофильтра плоскостной загрузкой из-за возможности проскока неочищенной сточной воды не дает существенного улучшения качественных показателей очищенной воды.

В результате реконструкции биофильтров по варианту I пропускная способность очистных сооружений увеличится в 2-3 раза, более рационально при реконструкции использовать вариант I или II (данные варианты позволяют улучшить показатели очищенной на биофильтрах сточной воды и увеличить пропускную способность биофильтров в 4-6 раз).

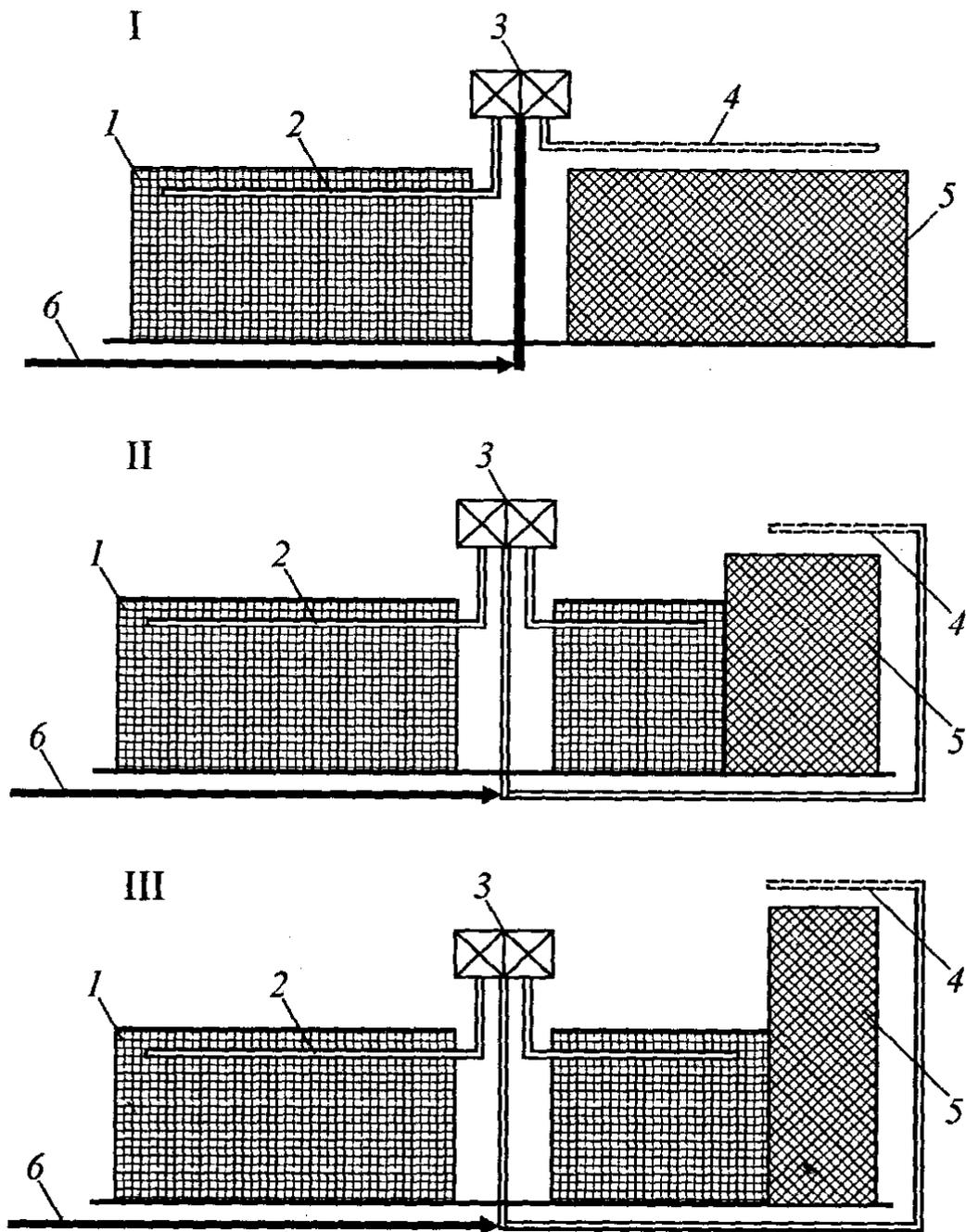


Рис. 35. Варианты реконструкции капельных биофильтров при замене объемной загрузки на плоскостную:

1 – объемная загрузка биофильтра; 2 – оросительная сеть биофильтров с объемной загрузкой; 3 – дозировочные баки; 4 – оросительная система биофильтра с плоскостной загрузкой; 5 – плоскостная загрузка; 6 – подача сточной воды на биофильтры; I – замена гравийной загрузки на плоскостную, без увеличения высоты слоя загрузочного материала; II – замена гравийной загрузки на плоскостную с увеличением высоты слоя до 4 м; III – замена гравийной загрузки на плоскостную с увеличением высоты ее слоя до 4-6 м

### **Замена оросительной системы**

Этот метод интенсификации в основном относится к реконструкции спринклерной системы орошения в водоструйную, и только в исключительных случаях (качающиеся желоба, водоналивные системы или вращающиеся оросители) возможна замена движущихся систем орошения на водоструйные.

### **Изменение технологической схемы работы станции биофильтрации с заменой загрузочного материала**

В большинстве случаев реконструкции замена гравийной загрузки на плоскостную не решает проблем глубины очистки сточных вод с доведением показателей воды до нормативных, удовлетворяющих сбросу в открытые водоемы. Для решения задачи увеличения пропускной способности станции биофильтрации и улучшения качественных показателей очищенных сточных вод необходимо изменение технологической схемы работы станции биофильтрации. В этом случае рассматривается только реконструкция биофильтров путем изменения технологической схемы очистки сточных вод.

**1-й вариант.** Реконструкция обоих аэрофильтров путем замены гравийной загрузки на плоскостную (пластмассовую) и работа реконструируемых биофильтров в две ступени.

**2-й вариант.** Реконструкция одного из биофильтров с заменой загрузочного материала. В этом случае работа сооружений также будет осуществляться по двухступенчатой схеме: на первой ступени работает биофильтр с плоскостной загрузкой, а на второй – аэрофильтр.

На рис. 36 приведены три технологические схемы реконструкции станции биофильтрации с заменой объемной загрузки на плоскостную.

Для реализации второго варианта реконструкции потребуются строительство дополнительных отстойников после биофильтров с плоскостной загрузкой и насосной станции для перекачки осветленной воды после отстойников на вторую ступень в биофильтр с объемной загрузкой.

При разработке реконструкции биофильтров и станций биофильтрации следует рассматривать несколько вариантов. Выбор основного варианта, по которому будет осуществляться реконструкция, должен быть обоснован технико-экономической целесообразностью применения выбранного варианта и его технико-экологической эффективностью. При изменении технологической схемы очистки модернизация сооружений должна рассматриваться по всему комплексу сооружений.

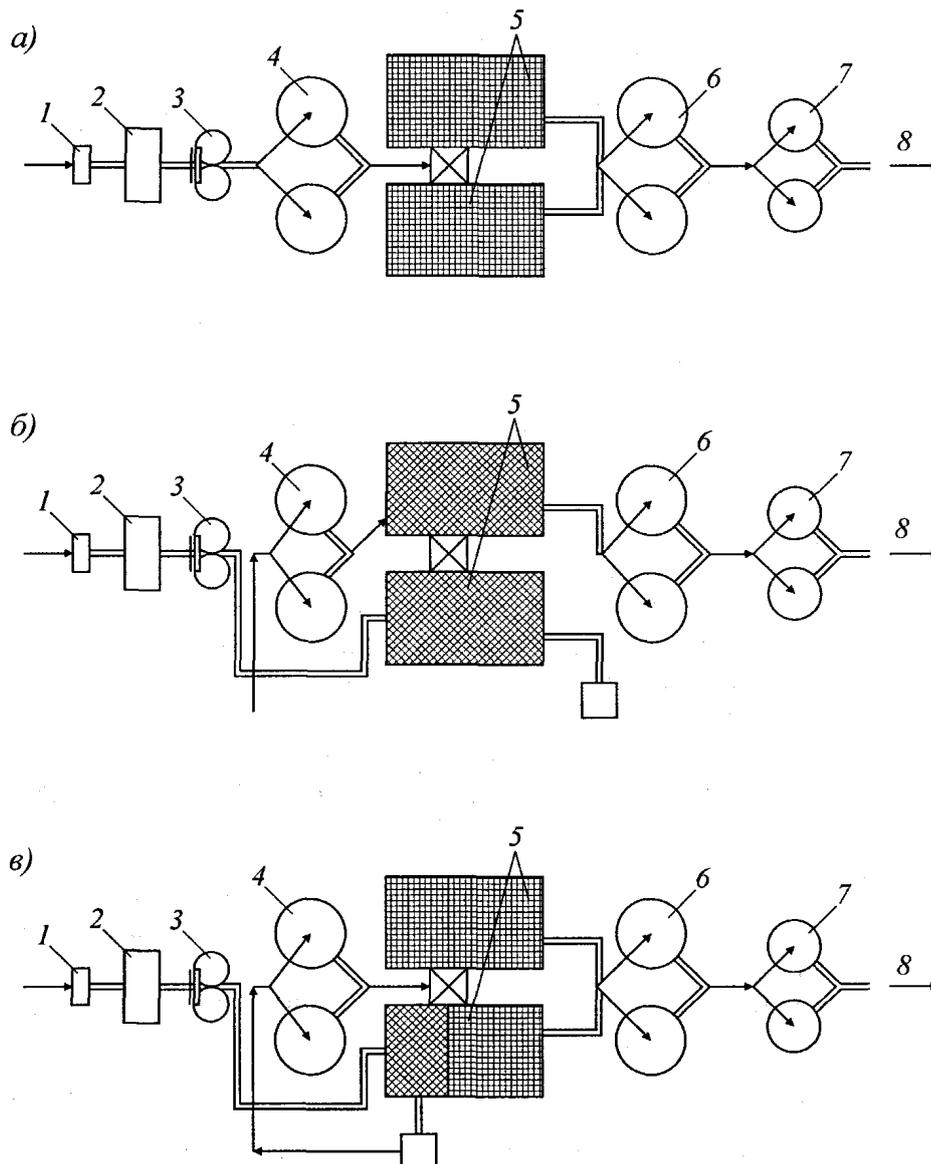


Рис. 36. Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции (а) и варианты реконструкции высоконагружаемых биофильтров: а – существующая схема очистки сточных вод; б – с полной заменой загрузочного материала в биофильтрах; в – с заменой загрузочного материала в одной из секций биофильтров; 1 – неочищенная сточная вода; 2 – приемная камера; 3 – песколовки; 4 – первичные отстойники; 5 – биофильтр; 6 – вторичный отстойник; 7 – контактный резервуар; 8 – очищенная вода

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается метод секционирования аэротенков?
2. Расскажите о реконструкции аэротенков с использованием прикрепленных биоценозов.
4. В чем особенности метода реконструкция с изменением технологической схемы работы станции аэрации?
5. Каким образом осуществляется замена загрузочного и изменение конструкции биофильтра?
6. В чем заключается метод реконструкции биофильтра путем замены оросительной системы?

## Лекция №11

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ДООЧИСТКЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ СТОЧНЫХ ВОД

1. Реконструкция сооружений по доочистке сточных вод.
2. Реконструкция сооружений по обеззараживанию сточных вод.

### 1. Реконструкция сооружений по доочистке сточных вод

В данном вопросе 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>п</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 подачей 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. 37).

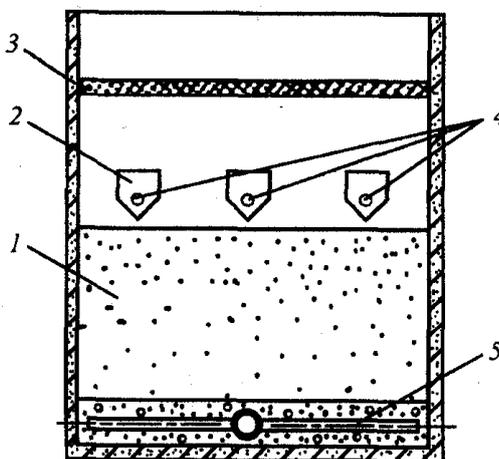


Рис. 37. Скорый фильтр с камерой флотации над фильтрующей загрузкой:  
 1 – фильтрующая загрузка; 2 – промывной желоб; 3 – флотационный шлам;  
 4 – дырчатые трубы для распределения рабочей жидкости;  
 5 – дренажная система

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.

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/(м·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 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. 38).

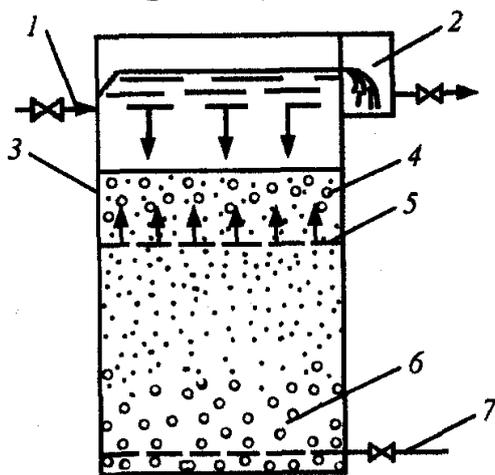


Рис. 38. Фильтр «Оксипор»:

- 1 – подача сточной воды; 2 – лоток промывочной 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 трубчатая 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, шунгезита 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 нефльтрованной 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 фильтрования 8-12 м/ч эффект снижения концентрации взвешенных веществ составляет 80-90 %, БПК<sub>5</sub> – 60-70 %. Продолжительность 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 необходимы 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 меньшую площадь по сравнению с прудами 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 использования 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 АД 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 более 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 протоккокковых, 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 биогидротанического, 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 узколистный, 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. 39). 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.

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-биореактора 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.

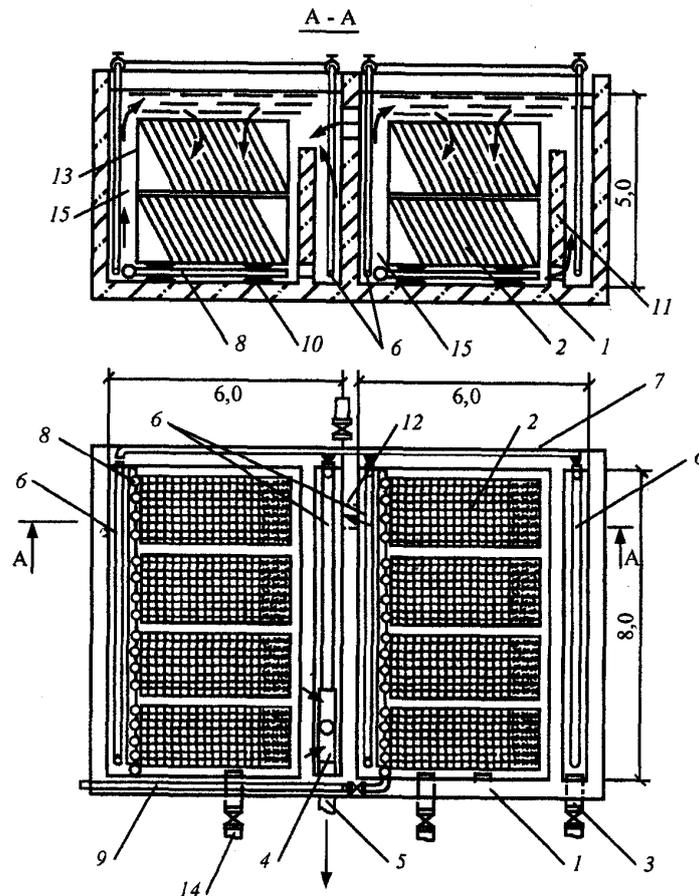


Рис. 39. Фильтр-биореактор с загрузкой из стеклоершей:  
 1 – резервуар; 2 – загрузка из стеклоершей; 3 – трубопровод подачи сточных вод;  
 4 – сборный желоб; 5 – трубопровод отвода воды; 6, 8 – барботер;  
 7, 9 – воздухопровод; 10 – опоры; 11 – окна; 12 – перепускное окно; 13 – стенка  
 контейнера; 14 – трубопровод опорожнения; 15 – эрлифтная ниша

При регенерации фильтра интенсивность подачи воздуха по специальной системе трубопроводов составляет  $10 \text{ л/с м}^2$ . Количество отверстий диаметром 5 мм подбирается по скорости выхода воздуха из них  $15 \text{ м/с}$ .

## 2. Реконструкция сооружений по обеззараживанию сточных вод

В настоящее время 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 используются реагенты-восстановители (бисульфит,  $\text{SO}_2$ ), однако в любом случае при 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 используются реагенты-восстановители (бисульфит,  $\text{SO}_2$ ), однако в любом случае при хлорировании сточных вод образуется комплекс 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 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  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) применяется напорная схема (рис. 40, 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  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Увеличение производительности до  $150 \text{ м}^3/\text{ч}$  и даже до  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  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. 40, б). В этом случае к установке надо подводить достаточное количество электрической энергии (из расчета примерно 100 кВт на каждые 100 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$  обрабатываемой воды). Доза бактерицидного УФ-облучения устанавливается на месте и колеблется от 16 до 20 мВт  $\text{с}/\text{см}^2$  для доочищенной сточной воды.

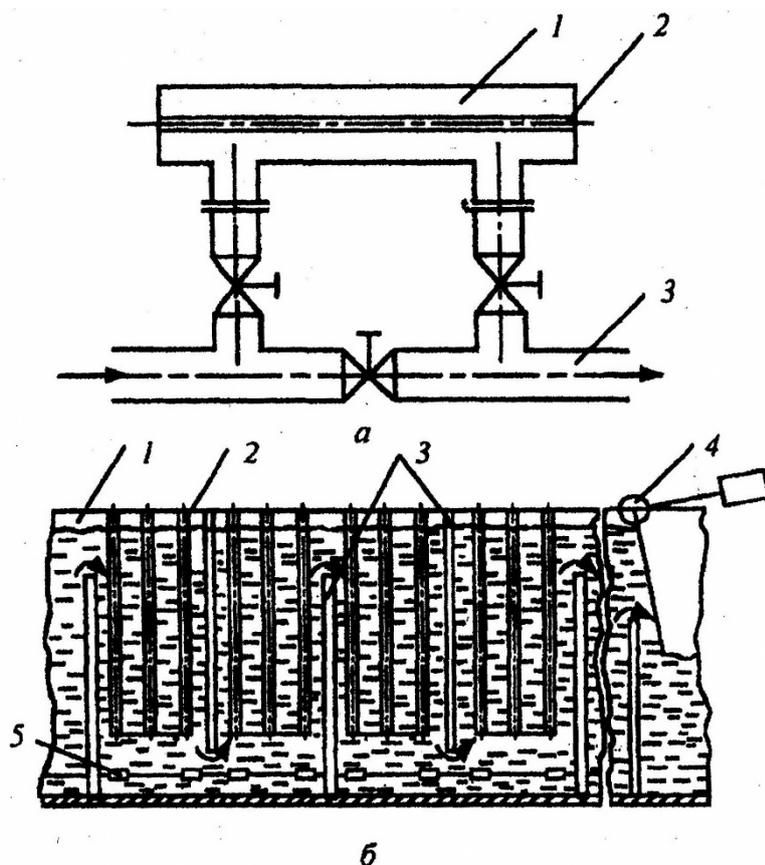


Рис. 40. Типы УФ-установок для обеззараживания сточных вод:  
*a* – напорные установки (производительностью 3-50 м<sup>3</sup>/ч в расчете на индивидуальный источник УФ-излучения): 1 – камера УФ-облучения; 2 – источник УФ-излучения в кварцевом защитном кожухе; 3 – магистральный трубопровод; *б* – водопогружные (ненапорные) УФ-установки кассетно-модульного типа: 1 – поток; 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

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. 8.

Т а б л и ц а 8

| 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    |

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.

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. 9. Оборудование производится в НПО ЛИТ (г. Москва).

Т а б л и ц а 9

| Наименование | Производительность не более, м <sup>3</sup> /ч | Электропотребление 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.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите об интенсификации процесса фильтрации путем предварительного осветления сточных вод напорной флотацией.
2. В чем особенности применения аэрируемых фильтров?
3. Каким образом осуществляется работа гидропневматического фильтра АФПЗ?
4. Расскажите о методах реконструкции биологических прудов.
5. Какие методы используются для реконструкции сооружений по обеззараживанию сточных вод?

## Лекция №12

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

1. Реконструкция илоуплотнителей.
2. Интенсификация работы аэробных стабилизаторов.
3. Анаэробное сбраживание осадка в метантенках.
4. Реконструкция сооружений по обезвоживанию осадков.

### 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 частичек ила с водой во время уплотнения. Активный ил имеет значительную структурообразную способность, что приводит во время уплотнения к преобразованию свободной воды в коллоидно-связанную 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 поступает 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. 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 легкогниющих 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 легкогниющих 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 °С 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 °С, 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 высококонцентрированных 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.

### 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 могут быть определены 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.

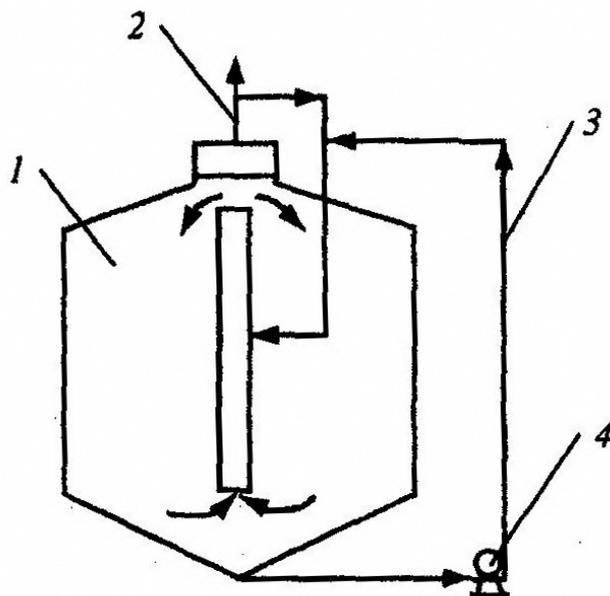


Рис. 41. Схема газлифтного перемешивания осадка в метантенке:  
 1 – корпус метантенка; 2 – газопровод; 3 – трубопровод осадка;  
 4 – циркуляционный насос

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 метантенком 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 (см. рис. 41).

#### *Непрерывная загрузка и выгрузка осадка*

Непрерывная загрузка осадка, особенно предварительно подогретого в теплообменниках, и его хорошее смешивание с массой осадка, который бродит, обеспечивают стабильный тепловой режим метантенка и возможность его работы с повышенными дозами загрузки. Одновременно обеспечиваются 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 сфлотированных 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 сбраживаемый осадок до pH 8,5-8,7. При этом практически прекращаются 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. Особенности 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 время 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.

#### 4. 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 фильтры-прессы. При реконструкции цехов мехобезвоживания в традиционных ленточных фильтрах-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 применяться и как самостоятельный аппарат для сгущения 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 стоимость 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 фильтрами-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 может вызвать образование 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 процессы 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 замороженного 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, 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 следует, 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 фильтрования 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. Расскажите об особенностях реконструкции илоуплотнителей.
2. Опишите возможные способы интенсификации работы аэробных стабилизаторов.
3. В чем заключаются особенности анаэробного сбраживания осадка в метантенках?
4. Какие методы интенсификации работы сооружений по механическому обезвоживанию осадков вы знаете?
5. Расскажите об особенностях реконструкции иловых площадок.

## 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. Усвоение лекционного материала позволит студенту сознательно подойти к изучению данной дисциплины, а в будущей инженерной деятельности дает возможность самостоятельно решать вопросы, непосредственно связанные с реконструкцией систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Наибольшее внимание уделено реконструкции водозаборных сооружений, водопроводных и канализационных сетей, насосных станций, сооружений по очистке воды для питьевых целей и очистке сточных вод.

Авторы надеются, 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 обеспечения глубокой очистки сточных вод путем реконструкции существующих систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлинова, И.И. Водоснабжение и водоотведение [Текст]: учебник для бакалавров / И.И. Павлинова, В.И. Баженов, И.Г. Губий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2015.
2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение [Текст]: учебник для вузов / Н.Н. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Интеграл, 2014.
3. Орлов, В.А. Водоснабжение [Текст]: учебник / В.А. Орлов, Л.А. Квитка. – М.: ИНФРА-М, 2015.
4. Фрог, Б.Н. Водоподготовка [Текст]: учебник для вузов / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов. – М.: АСВ, 2014.
5. Воронов, Ю.В. Водоотведение [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, Е.А. Пугачев. – М.: АСВ, 2014.
6. Орлов В.А. Бестраншейные технологии [Текст]: учебник / В.А. Орлов, И.С. Хантаев, Е.В. Орлов. – М.: АСВ, 2011.
7. Белоконев, Е.Н. Водоотведение и водоснабжение [Текст]: учеб. пособие для бакалавров / Е.Н. Белоконев, Т.Е. Попова, Г.Н. Пурас. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д: Феникс, 2012.
8. Татура, А.Е. Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения: Учеб. пособие [Текст] / А.Е. Татура. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003.
9. Краснов, В.И. Реконструкция трубопроводных инженерных сетей и сооружений [Текст]: учеб. пособие / В.И. Краснов. – М.: ИНФРА-М, 2008.
10. Саломеев, В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения [Текст]: моногр. / В.П. Саломеев. – М.: АСВ, 2009.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....   | 3   |
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 4   |
| Лекция №1   |     |
| НАПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ<br>И ВОДООТВЕДЕНИЯ.....  | 5   |
| Лекция №2   |     |
| МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ<br>РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....                              | 10  |
| Лекция №3   |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ НАСОСНЫХ<br>СТАНЦИЙ.....  | 20  |
| Лекция №4   |     |
| ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ<br>ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.<br>ВЫБОР СХЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ..... | 26  |
| Лекция №5   |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ КОАГУЛИРОВАНИЯ<br>ПРИРОДНОЙ ВОДЫ.....  | 31  |
| Лекция №6   |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ОТСТАИВАНИЮ,<br>ФИЛЬТРОВАНИЮ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ПРИРОДНОЙ<br>ВОДЫ .....              | 44  |
| Лекция №7   |     |
| ТЕХНОЛОГИИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ<br>ВОДОПРОВОДНЫХ И ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ.....                           | 56  |
| Лекция №8   |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ<br>СТАНЦИЙ.....  | 64  |
| Лекция №9   |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ<br>ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....   | 74  |
| ЛЕКЦИЯ №10  |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ<br>ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....  | 86  |
| Лекция №11  |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ДООЧИСТКЕ<br>И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ СТОЧНЫХ ВОД .....                                    | 96  |
| Лекция №12  |     |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ<br>СТОЧНЫХ ВОД.....   | 106 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....  | 117 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....  | 118 |

Учебное издание

Сафронов Максим Александрович  
Малютина Татьяна Викторовна

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**  
Курс лекций

Редактор        М.А. Сухова  
Верстка        Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 14.04.2016.    Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 7,0.        Уч.-изд.л. 7,5.        Тираж 80 экз.  
Заказ № 235.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.

