

Министерство путей сообщения Российской Федерации  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Кафедра «Гидравлика  
и водоснабжение»

Г.И. Воловник  
Л.Д. Терехов

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ**

Рекомендовано  
редакционно-издательским советом ДВГУПС  
в качестве учебного пособия

Хабаровск  
2003

УДК 628.1 (075.8) + 628.2 (075.8)  
ББК Н 761я73  
В 680

Рецензенты:

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»  
Иркутского государственного технического университета  
(заведующий кафедрой доктор технических наук,  
профессор *В.Р. Чупин*)

Доктор технических наук, профессор Пензенской государственной  
архитектурно-строительной академии, член Учебно-методического  
объединения Ассоциации строительных вузов Российской Федерации  
*Ю.И. Вдовин*

**Воловник, Г.И.**

**В 680** Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения населенных  
мест: Учеб. пособие / Г.И. Воловник, Л.Д. Терехов. – Хабаровск: Изд-во  
ДВГУПС, 2003. – 113 с.: ил.

Учебное пособие соответствует государственному образовательному стан-  
дарту направления 653500 «Строительство», специальности 290800 «Водо-  
снабжение и водоотведение».

В пособии излагаются принципиальные подходы к вопросам усиления и ре-  
конструкции систем водоснабжения и водоотведения. Наиболее полно отра-  
жены сведения по реконструкции основных элементов водонесущих систем:  
водозаборных сооружений, насосных станций, систем подачи и распределе-  
ния воды, очистных сооружений водоснабжения и канализации в условиях по-  
вышенной гидравлической перегрузки, высоких требований к качеству очистки  
воды, а также к иловому хозяйству.

Предназначено для студентов 5-го курса специальности 290800 «Водо-  
снабжение и водоотведение», изучающих дисциплины «Водоснабжение и во-  
доотведение промышленных предприятий»; «Реконструкция инженерных сис-  
тем и сооружений».

Может быть рекомендовано специалистам, занимающимся вопросами интен-  
сификации и реконструкции сооружений систем водоснабжения и водоотведения.

**УДК 628.1 (075.8) + 628.2 (075.8)**  
**ББК Н 761я73**

© Дальневосточный государственный университет  
путей сообщения (ДВГУПС), 2003  
© Воловник Г.И., 2003  
© Терехов Л.Д., 2003

## **ВВЕДЕНИЕ**

Анализ результатов эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения нередко показывает необходимость их усиления. Это связано с изменениями условий функционирования систем сравнительно с исходными (проектными) данными, а также с недостатками проектных решений.

Усиление достигается как новым строительством с заменой или расширением существующих объектов, так и реконструкцией. В последнем случае реализуются неиспользуемые потенциальные производственные возможности объектов и подлежат замене или разгрузке только те лимитирующие элементы, которые не способны нормально работать в требуемых более жестких условиях. Специфика реконструкции заключается в том, что она должна проводиться с учетом существующей ситуации: стесненности производственных площадей, расположения объектов, их габаритов и технического состояния, недопустимости нарушения производственных процессов и т. д. Реконструкция – наиболее эффективный способ усиления, так как она требует меньшего объема работ, чем новое строительство. Разумеется, при рассмотрении альтернативных способов усиления следует проводить технико-экономические сравнительные расчеты.

В учебном пособии рассмотрены общий подход и направления решения характерных задач по реконструкции водопроводных и водоотводящих систем. Материал пособия основывается на лекционных курсах «Реконструкция инженерных систем» и «Водозаборные сооружения», которые на протяжении ряда лет читались авторами в ДВГУПС.

# **1. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ КАК МЕТОД УСИЛЕНИЯ СИСТЕМ**

## **1.1. Общие положения**

Основные объекты водопроводных и водоотводящих систем рассчитаны на длительный период эксплуатации, в течение которого исходные условия их функционирования вполне закономерно изменяются.

Возникающее несоответствие между фактическими условиями и производственными возможностями негативно сказывается на качестве эксплуатации. Ухудшение экологической обстановки требует изменения степени очистки воды и сточных вод, рост количества абонентов приводит к гидравлической перегрузке всех основных объектов водоснабжения и водоотведения, невыполнению ими своих функций и т. д. Изменение некоторых природных факторов способно снизить надежность отдельных сооружений. Например, при увеличении мутности речной воды, активизации эрозионной деятельности рек, снижении статического уровня подземных вод нарушается работа водозаборов, что приводит к их отказам.

Улучшение таких показателей качества эксплуатации, как экономичность и безопасность персонала, нередко достигается изменением конструкций или технологических схем сооружений.

Обязательным условием проведения работ по усилению является их обоснованность, поскольку очень часто причины невыполнения объектами своих функций объясняются элементарными ошибками в эксплуатации. Так, гидравлическая перегрузка водопровода может быть связана с отсутствием должного учета расходов воды и большими утечками систем водоотведения – с неконтролируемой инфильтрацией грунтовых вод в безнапорные коллекторы. Совершенно очевидно, что возникающие проблемы следует разрешать не усилением систем, а улучшением эксплуатационного процесса.

Следует объективно оценить техническое состояние и производственные возможности объектов с учетом износа. С этой целью производится их обследование, уточнение габаритов, а в необходимых случаях – специальные исследования: определение гидравлических сопротивлений трубопроводов, коэффициентов использования объемов отстойных сооружений, дебитов водозаборных скважин. Иногда усилению предшествует капитальный ремонт объектов, например, санация и восстановление пропускной способности трубопроводов. В процессе обследования решается вопрос о целесообразности дальнейшего использования того или иного элемента или его замене (реновации). Наконец, расчетами или путем других обоснований определяются значения параметров, которые должны быть обеспечены после усиления объекта (расход, качество очищенной воды и др.).

В системах отдельные объекты связаны, и реконструкция одного из них скажется на других. Так, изменение напора реконструируемого водовода повлияет на работу водопроводной сети. Поэтому результаты реконструкции необходимо заранее прогнозировать и оптимизировать в интересах всей системы.

Как правило, усиление системы сочетает разные методы: реконструкцию и новое строительство.

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

Решение задач по реконструкции требует выяснения конкретных причин, по которым данный объект не может нормально функционировать. Только после этого возможен поиск приемлемых путей реконструкции объекта.

Как правило, решение задачи складывается из ряда этапов:

1) выявления элементов (на основании технологических расчетов), у которых требуемые условия работы не соответствуют производственным возможностям;

2) анализа конкретных причин, по которым эти элементы не способны выполнять свои функции;

3) разработки инженерных мероприятий по преодолению указанных причин;

4) прогноза влияния результата реконструкции на функционирование других элементов системы. Реконструкция не должна нарушать нормальное функционирование этих элементов.

Для уяснения методики решения задач по реконструкции рассмотрим следующий пример.

Насосы второго подъема должны подавать по водоводу в водонапорную башню воду с расходом  $Q_p$ , превышающим проектный. Гидравлический расчет показывает, что требуемая подача превышает пропускную способность водоводов, а необходимый для этого напор насосов второго подъема оказывается больше расчетного и равен  $H_1$ . Напомним, что пропускная способность трубопровода – расход, при котором потери напора равны проектным. Таким образом, перегруженным элементом объекта являются насосы второго подъема, не способные создавать напор  $H_1$  при расходе  $Q_p$  (рис. 1.1).

Задача решается заменой насосов второго подъема либо их количественным регулированием (изменением числа оборотов).

Ограничивающим фактором следует считать допустимость повышения давления в водоводе, что, в свою очередь, зависит от его технического состояния и вида труб.

При другом пути решения лимитирующими элементами объекта становятся водоводы, имеющие недостаточную пропускную способность.

Единственный способ повышения их пропускной способности – увеличение количества ниток. В этом случае по результатам гидравлического расчета напор насосов второго подъема составит  $H_2 < H_1$  при подаче, равной  $Q_p$ . Возможно, что потребуются одновременная замена насосов или их регулировка.

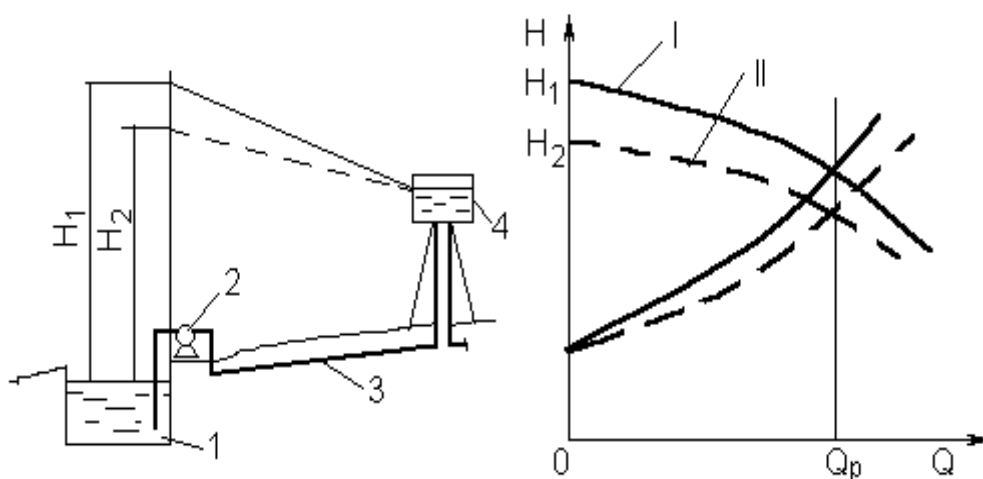


Рис. 1.1. Напорные линии и условия работы насосов: I – вариант 1; II – вариант 2; 1 – резервуар чистой воды; 2 – насос второго подъема; 3 – водовод; 4 – водонапорная башня

Таким образом, первый вариант решения предусматривает реконструкцию насосной станции, второй – прокладку дополнительного водовода.

Преимущество первого варианта – в меньшем объеме строительно-монтажных работ, недостаток – в росте потребления электроэнергии (в расчете на единицу объема перекачиваемой воды), так как она должна подаваться при большом напоре. При втором варианте реконструкции, наоборот, объем строительно-монтажных работ больше, а удельное потребление энергии – меньше. Выбор варианта требует технико-экономического сравнения.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. При каких условиях возникает необходимость в проведении работ по реконструкции систем водоснабжения и водоотведения?
2. Какие предварительные работы следует выполнить, прежде чем приступить к выработке стратегии реконструкции?

## **2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОЛОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДОВ**

### **2.1. Общие положения**

Головные сооружения предназначены для забора воды из источников водоснабжения и для подачи ее на станцию очистки. В состав головных сооружений входят водозабор, насосная станция первого подъема, коммуникации. Функция головных сооружений заключается в подаче расчетного суточного расхода воды проектного качества, т.е. такого, которое учитывалось при проектировании очистных сооружений.

Характерная причина реконструкции – необходимость в увеличении расхода воды сравнительно с проектными данными. Реконструкция может быть связана также с изменением природных условий, влияющих на забор воды из источника, либо проводиться в связи с необходимостью повышения качества эксплуатации (надежность и др.).

Увеличение производительности головных сооружений зависит не только от их производственных возможностей, но и от характеристики источника водоснабжения. Устойчивый прием из водотоков допустим, если водоотбор составляет менее 0,25 от минимального дебита источника. В противном случае вероятна потеря водотоком транспортирующей способности, обмеление, в суровых климатических условиях – перемерзание зимой и т.д. [1].

Производительность подземных водозаборов ограничивается эксплуатационными запасами подземных вод. Как известно, эксплуатационными запасами называют объемы воды, которые могут быть получены из месторождения при помощи водозабора данной конструкции при заданном режиме эксплуатации и при проектном значении показателей качества забираемой воды [2]. Эксплуатационные запасы реализуются при установившемся и неустойчивом режиме их пополнения. Превышение эксплуатационных запасов сокращает продолжительность использования источника, а недопустимое понижение уровня подземных вод нарушает условия питания, приводит к поступлению воды из неиспользуемых источников и может вызвать ухудшение ее качества.

Таким образом, увеличение производительности головных сооружений не всегда возможно и ограничено природными условиями.

## **2.2. Реконструкция головных сооружений поверхностных источников**

### **2.2.1. Условия забора воды**

В соответствии с нормативами [3] условия приема воды из источника подразделяются на легкие, средние или тяжелые. С учетом этого ограничиваются скорости втекания воды в водоприемные окна водозаборов. Для приема наиболее чистой воды в проектах обосновываются значения высот порога и забрала.

Изменения условий водоприема носят сезонный характер (шуга, появление рыбной молоди и др.), что учитывается проектами. Вместе с тем возможны радикальные изменения в водном источнике, вызываемые деятельностью по формированию русла и требующие обязательной реконструкции водозаборов или проведения дополнительных крупных гидротехнических работ.

Водозабор включает элементы, предназначенные для грубой очистки воды, защиты насосов первого подъема и коммуникаций от ускоренного износа и засорения. Первичная очистка производится на входе в водоприемник, где установлены решетки, а в отдельные периоды года – каскеты для задержания мальков рыбы. Водоприемная часть сеточного колодца (аванкамера), в которой вода находится 30–35 с, играет роль отстойника-песколовки; сетки в сеточном колодце задерживают водоросли, кору, другой плавающий сор, а также мелкую рыбу.

Насосы первого подъема устанавливаются под заливом или постоянно, либо часть года работают с созданием вакуума (не под заливом).

### **2.2.2. Реконструкция головных сооружений с русловыми затопленными водоприемниками**

На рис. 2.1 приводится схема водозабора с русловым затопленным водоприемником. Перепады уровней равны потерям напора на отдельных участках гидравлической схемы. При минимальном уровне в источнике  $Z_0$  высота всасывания насоса первого подъема  $Z_3 - Z_2$  максимальна. Рассмотрим условия работы водозабора при гидравлической перегрузке. В этом случае уровни воды в аванкамере и в отделении всасывающих труб понизятся, а высота всасывания насосов первого подъема увеличится сравнительно с расчетной. Лимитирующим элементом водозабора становятся насосы первого подъема.



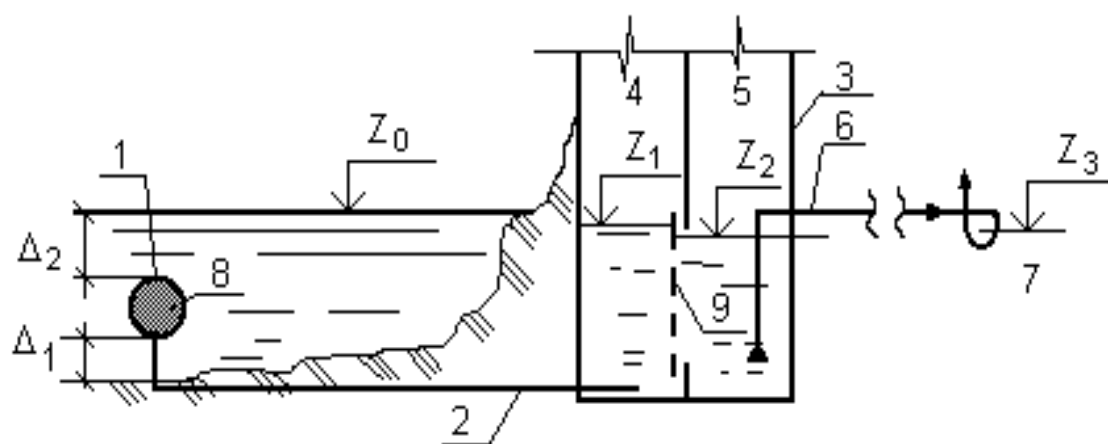


Рис. 2.1. Схема водозабора с затопленным русловым водоприемником: 1 – водоприемник; 2 – самотечная линия; 3 – сеточный колодец; 4 – аванкамера; 5 – отделение всасывающих труб; 6 – всасывающая труба; 7 – насос первого подъема; 8 – входное окно с решеткой; 9 – сетка;  $\Delta_1$  – высота порога;  $\Delta_2$  – толщина забрала

Вакуумметрический напор отечественных центробежных насосов редко превышает 6–7 м. Увеличение высоты всасывания и одновременно возрастание потерь напора во всасывающей линии способны привести к кавитации либо к срыву вакуума и полному отказу насоса. Другим фактором, способным нарушить работу насосов, является прорыв воздуха во всасывающую линию. При понижении уровня в отделении всасывающих труб (отметка  $Z_2$ ) возникает опасность образования «воздушных шнуров» (рис. 2.2). Такое явление происходит, если заглубление входных воронок менее некоторого критического значения:

$$h_{кр} = 0,5D_{вх} \left( \frac{V_{вх}}{\sqrt{gD_{вх}}} \right)^{0,55}, \quad (2.1)$$

где  $h_{кр}$  – критическое заглубление (глубина), м;  $V_{вх}$  – скорость входа в воронку, м/с;  $D_{вх}$  – диаметр входной воронки, м.

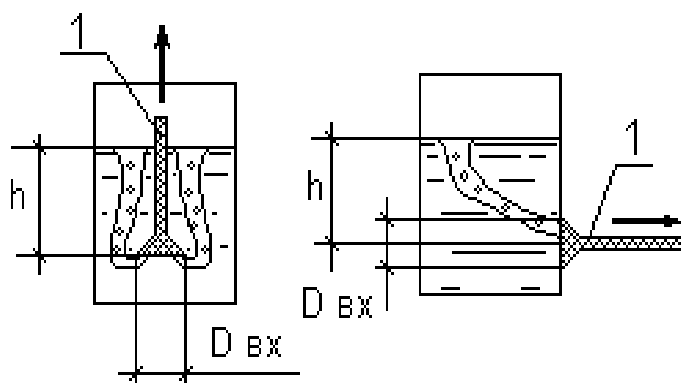


Рис. 2.2. Образование воздушного шнура при входе во всасывающую линию: 1 – всасывающий трубопровод

Например, при скорости входа в воронку 1 м/с, ее диаметре 0,25 м критическое заглубление равно 0,08 м, т.е.  $0,32 D_{\text{вх}}$ . Рекомендуется заглублять вход в воронку на  $0,6\text{--}1,2 D_{\text{вх}}$ . Опасность подсоса воздуха во всасывающие трубы уменьшается, если снабдить входные воронки козырьками или разместить вокруг труб плавающие плотки. Считается, что в этом случае критическая глубина может быть уменьшена на 20–25 %.

В [35] отмечается, что в условиях снижения уровня и уменьшения полезной вместимости аванкамеры, увеличивается опасность захвата воздуха всасывающими линиями насосов и водоприемные отверстия труб следует заглублять не менее чем на

$$h = \frac{8,5 Q}{F} \geq 2 D_{\text{вх}}, \quad (2.2)$$

где  $Q$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $F$  – площадь зеркала воды в отделении всасывающих труб,  $\text{м}^2$ .

Для увеличения высоты всасывания насосов применяется перепуск воды из напорной линии насосов во всасывающую линию (рис. 2.3).

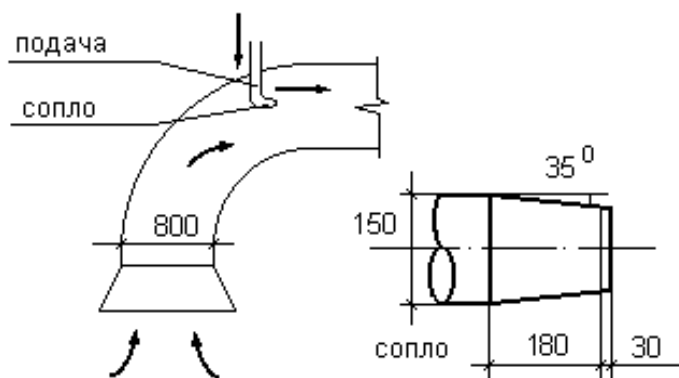


Рис. 2.3. Реконструкция всасывающей линии на водопроводе г. Омска [16]

Вода, поступающая из напорной линии, находится под большим напором, а следовательно, обладает большей удельной энергией, чем всасываемая. Рассеивание (дессипация) избыточной энергии повышает общую энергию потока.

Увеличение высоты всасывания указанным способом рекомендуется определять по номограмме (рис. 2.4). В номограмме приняты следующие обозначения:

$d_c$  – диаметр сопла, мм;  $D$  – диаметр всасывающей линии насоса, мм;  $\Delta H$  – требуемое увеличение высоты всасывания, м;  $H$  – скоростной напор при истечении из сопла, м. Для примера, приведенного на рис. 2.4,  $d_c / D = 0,12$  (принято);  $\Delta H = 2,0$  м;  $H = 70$  м. Пусть  $D = 500$  мм, тогда  $d_c = 60$  мм. Скорость истечения из сопла  $V = \varphi \sqrt{2gH}$ . При  $\varphi \approx 1,0$ ,  $V = 37,1$  м/с.

Для конической сходящейся насадки с углом конусности  $13^\circ$  коэффициент сжатия  $\varepsilon = 0,983$ . Тогда расход воды,  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , направляемый из напорной линии во всасывающую,

$$q = \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} V = 0,01.$$

Иногда для увеличения высоты всасывания во всасываемую линию вводят контролируемое и ограниченное количество воздуха (не более 2–3 % от расхода воды). Увеличение высоты всасывания вследствие уменьшения плотности перекачиваемой среды составит

$$\Delta h_{\text{вс}} = H_{\text{в}} \left( \frac{100}{100 - a} - 1 \right), \quad (2.3)$$

где  $H_{\text{в}}$  – максимальная вакуумметрическая высота, поддерживаемая насосом, м;  $a$  – количество вводимого воздуха в % от расхода воды.

Например, при  $H_{\text{в}} \neq 6,0$  и  $a = 3$  % высота всасывания увеличится на 0,18 м.

При введении воздуха необходимо предусмотреть на напорной линии насоса воздухоотборники и вантузы для его сбора и удаления.

Рассмотренные способы неэкономичны, а при введении воздуха требуют жесткого контроля. Они необходимы только в период, когда уровни воды в источнике близки к минимальным.

На рис. 2.5 приводятся некоторые способы решения, принимаемые для повышения устойчивости работы насосов. По схеме *а* высота всасывания увеличивается путем оборудования входа во всасывающую линию эжектором.

По схеме *б* из работы исключается береговой колодец, и всасывающая линия соединяется с самотечной.

Схема *в* позволяет поддерживать вакуум путем установки котла, куда засасывается выделяющийся при пониженном давлении воздух.

Вакуумирование сеточного колодца (схема *г*) обеспечивает повышение уровней в аванкамере и в отделении всасывающих труб. Такая схема была применена на Новосибирском водопроводе, причем, повышение уровня составило 1,5–2,0 м. Расход воды при вакуумировании колодца определяется по следующей зависимости:

$$Q = \omega \sqrt{2g (\Delta h + h_{\text{в}})} \xi_{\text{сист.}}, \quad (2.4)$$

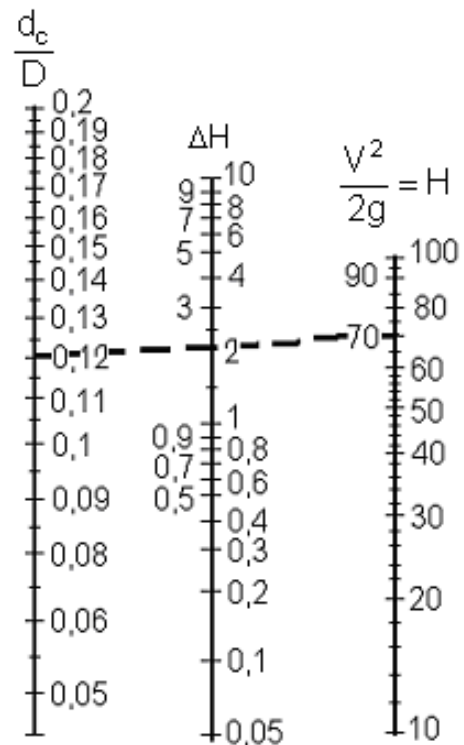


Рис. 2.4. Номограмма для определения увеличения высоты всасывания насосов

где  $\omega$  – площадь сечения самотечной линии;  $\Delta h$  – перепад уровней в источнике водоснабжения и аванкамере без вакуумирования;  $h_v$  – создаваемый вакуумметрический напор;  $\xi_{\text{сист.}}$  – коэффициент сопротивления системы «водоприемник – самотечная линия».

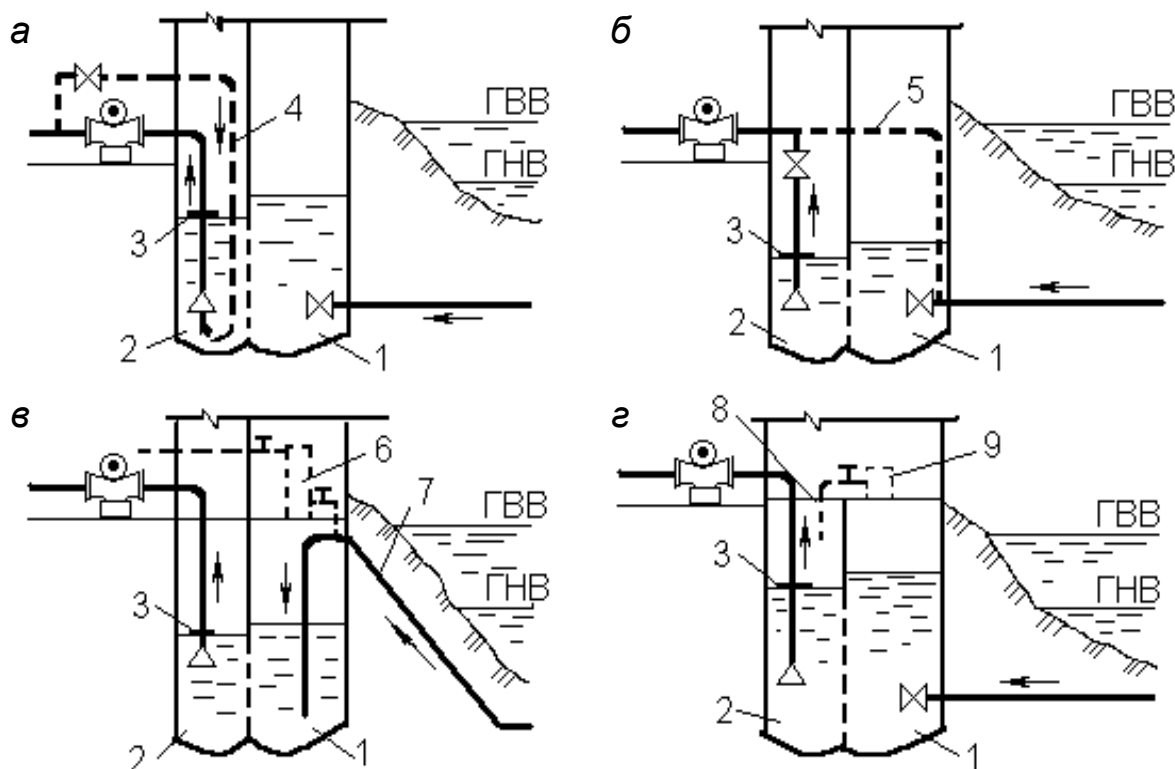


Рис. 2.5. Способы повышения устойчивости водозабора при снижении уровня воды в водопроводном колодце: 1 – водоприемная камера; 2 – камера всасывания; 3 – плавающий щит; 4 – напорный трубопровод к эжектору; 5 – дополнительный всасывающий трубопровод; 6 – вакуум-котел; 7 – сифонный трубопровод; 8 – герметичное перекрытие; 9 – вакуум-насос [35]

Заметим, что в случае вакуумирования опасность возникновения кавитации или срыва вакуума у насоса не уменьшается, а лишь создаются условия для его залива.

Рассмотренные методы приемлемы, если продолжительность их применения ограничена низкими уровнями в источнике. В противном случае возникает необходимость в реконструкции насосной станции первого подъема. Реконструкция станции также необходима, если существующие насосы не могут обеспечить требуемую подачу.

При необходимости реконструкции в связи с недопустимым увеличением высоты всасывания следует ориентироваться на применение погружных насосов с их размещением в отделениях всасывающих труб сеточных колодцев. Особенностью погружных насосов являются компактность и простота монтажа, что в ряде случаев позволяет отказаться от

установленного резерва и хранить резервные агрегаты на складе головных сооружений. Могут использоваться и насосы, предназначенные для установки в скважинах, но они имеют пониженные КПД.

Если насосная станция первого подъема совмещена с сеточным колодцем и задача заключается в увеличении производительности насосов, но места для размещения новых горизонтальных насосов недостаточно, не исключена возможность установки вертикальных насосов.

Рассмотрим другие отрицательные последствия, возникающие при повышении производительности головных сооружений.

Увеличение скорости втекания в водопроводные окна водоприемника приводят к поступлению воды повышенной загрязненности.

Рекомендуемые нормативами [3] скорости составляют 0,2–0,6 м/с, в зависимости от загрязненности водотока. Форсирование водоотбора приводит к частому засорению решеток на входных отверстиях, т.е. к некоторому ухудшению условий эксплуатации.

Реальные условия водоприема, известные по опыту предыдущей эксплуатации, позволяют реально оценить возникающие неудобства. Они часто компенсируются улучшением конструкции решеток на водоприемных окнах. Конструкция решеток существенно влияет на равномерность втекания воды [1]. Равномерному втеканию способствует конструкция решеток со стержнями из полос, расположенных вертикально, причем ширина стержней принимается не меньше просвета между ними. Если боковые грани стержней развернуть так, что угол отвода воды, отсчитываемый от направления течения в водотоке, составит 120–135°, то решетка приобретет свойства самоочищаемости.

Сезонные помехи (ледовые явления, появление мальков рыбы), усугубляемые переходом водозабора на форсированный режим, иногда могут быть преодолены за счет обычных защитных мер сезонного характера. В других случаях неизбежна реконструкция с увеличением площади приемных окон. Варианты такой реконструкции, предусматривающие размещение дополнительных водоприемников, приведены на рис. 2.6.

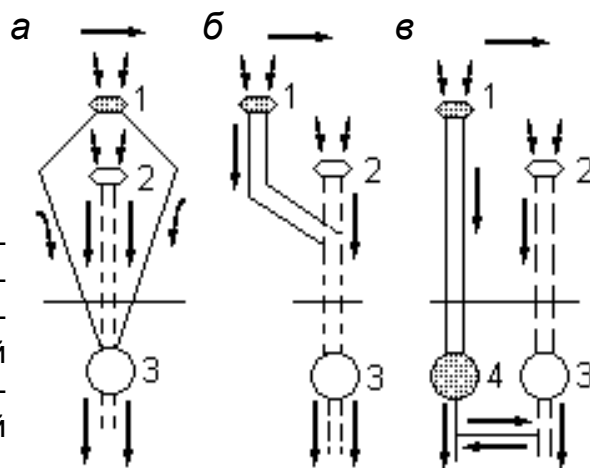


Рис. 2.6. Схемы реконструкции водозаборов: 1 – оголовок дополнительный; 2 – оголовок существующий; 3 – сеточный колодец и НС-1 существующий; 4 – сеточный колодец дополнительный; - - - существующий трубопровод; — дополнительный трубопровод [35]

По варианту а дополнительный оголовок оборудован самотечными линиями, присоединенными к существующему сеточному колодцу. Вариант б предусматривает объединение самотечных линий от дополнительного оголовка и существующих. Расстояние от места соединения до сеточного колодца ограничено условиями проведения строительно-монтажных работ, но должно быть минимально возможным. В [35] такая схема считается неудачной, так как трудно исключить взаимное влияние соединенных оголовков, что нарушит устойчивость забора воды.

Вариант в предусматривает строительство независимого блока, включающего оголовок, самотечные линии и сеточный колодец. Напорная линия (схемы предусматривают насосную станцию первого подъема, совмещенную с сеточным колодцем) от нового блока соединяется перемычкой с существующей напорной линией.

В нормативах [3] скорости воды в самотечных линиях в зависимости от категории водозаборных сооружений рекомендуются в пределах от 0,7 до 2,0 м/с. Рекомендация связана с технико-экономическими соображениями и с долговечностью трубопроводов, которые подвержены истиранию песком в период эксплуатации. Очевидно, что некоторое превышение рекомендуемых скоростей не приведет к каким-либо радикальным отрицательным последствиям. В этих случаях следует предусматривать более строгий контроль за техническим состоянием трубопроводов и за своевременностью ремонтов.

Одним из элементов, работа которого при увеличении производительности водозабора усложнится, являются плоские и вращающиеся сетки в сеточном колодце. Как известно, во избежание разрыва полотна сеток, создаваемый ими перепад уровней ( $z_1 - z_2$  по рис. 2.1) строго ограничивается и составляет как максимум 0,1–0,15 м для плоских и до 0,15–0,30 м для вращающихся сеток.

Увеличение расходов воды, а также ее уровня в аванкамере сравнительно с расчетным проектным расходом, требует более частой промывки. Не исключено, что в отдельные периоды года возникает кратковременная ситуация, при которой нельзя выдержать нужный режим промывки. В этом случае существует возможность отказа от сеток на критический период, хотя при этом есть опасность засорения насосов первого подъема и возникает необходимость в их чистке.

В практике водоснабжения не редки случаи, когда слой донных наносов у водоприемника увеличивается, высота порога оказывается недостаточной, а в водоприемник поступает вода с повышенным содержанием песка. На рис. 2.7 приведена схема реконструкции оголовка с устройством специального короба из листовой стали. Водоприемные окна в коробе установлены так, чтобы создать нужную высоту порога.

При ухудшении проектных условий водоприема проводятся гидротехнические работы: строительство струенаправляющих дамб, уменьшающих вероятность поступления в водоприемник большого количества наносов и шуги, создание ковшей, перенос оголовков в более удобные для забора воды точки акватории и т.д.



Рис. 2.7. Реконструкция оголовка с целью увеличения высоты порога [1]

## 2.3. Реконструкция водозаборов подземных вод из скважин

### 2.3.1. Общие положения

Максимально возможный отбор воды из источника ограничен эксплуатационными запасами, превышение которых вызывает или ускоряет истощение источника, а в ряде случаев приводит к ухудшению качества воды. Движение подземного потока к скважине должно происходить в ламинарном режиме; турбулентная фильтрация сопровождается ростом потерь напора, увеличением гидравлического уклона и значительным снижением динамического уровня (рис. 2.8).

Критическая скорость фильтрации  $V_{кр}$ , м/сут, превышение которой приводит к наступлению турбулентного режима, определяется по известной формуле С.К. Абрамова:

$$V_{кр.} = 65 \sqrt[3]{K}, \quad (2.4)$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации, м/сут.

Наибольшая скорость фильтрационного потока будет наблюдаться у водоприемной поверхности фильтра. Если приравнять ее к критической, то максимальная водозахватывающая способность фильтра скважины  $Q_{в.з.}$ , м<sup>3</sup>/с, окажется равной:

$$Q_{в.з.} = 204 d_{\phi} L_{\phi} N \sqrt[3]{K}, \quad (2.5)$$

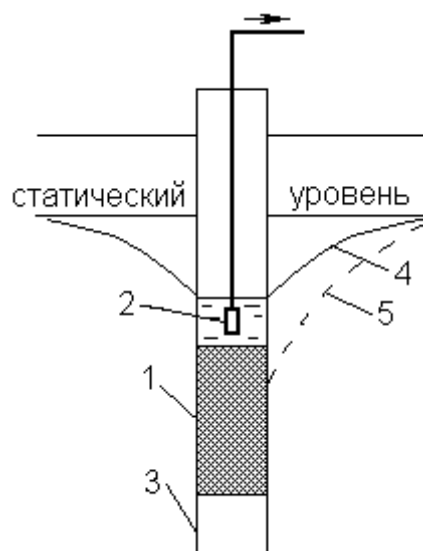


Рис. 2.8. Схема скважины и кривые депрессии: 1 – фильтр; 2 – насосный агрегат; 3 – отстойник; 4 – кривая депрессии при ламинарной фильтрации; 5 – то же при турбулентной

где  $d_{\phi}$  – диаметр фильтра скважин;  $L_{\phi}$  – длина фильтра;  $N$  – скважность фильтра, т.е. отношение суммарной площади отверстий к площади поверхности фильтра.

Следует отметить, что втекание воды через отверстия фильтра неравномерно. Поскольку движение воды внутри фильтра происходит с возрастающим гидравлическим уклоном (расход увеличивается по направлению движения, а площадь живого сечения остается постоянной), в нижней части фильтра избыточный напор  $\Delta H$ , под действием которого вода проходит через отверстия меньше, чем в его верхней части (рис. 2.9).

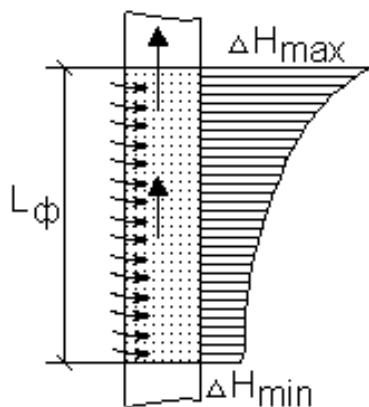


Рис. 2.9. Эпюра избыточного напора по длине фильтра

Реконструкция может коснуться либо отдельных скважин, либо водозаборного сооружения в целом, при этом следует иметь в виду, что стоимость скважин составляет в среднем лишь 10–15 % общей стоимости объекта (стоимость земли, ее обустройство, коммуникации).

Рассмотрим случаи, когда производительность водозабора не превышает эксплуатационных запасов.

### 2.3.2. Реконструкция скважин

Увеличение производительности скважины, ограниченной пределами водозахватывающей способности фильтра, достигается изменением подачи насоса. Лимитирующим фактором при реконструкции являются параметры насосов или положение динамического уровня подземных вод у скважины. Повысить подачу погружных насосов крайне сложно. При их замене существуют ограничения, связанные с диаметром скважин, а качественная регулировка практически исключена, так как число оборотов близко к максимуму (около 3 тыс. об/мин).

Иногда удастся снизить требуемый напор, что, естественно, приводит к увеличению подачи насоса. На рис. 2.10 приводится схема водозабора, согласно которой вода из скважин подается по водоводу на станцию очистки (точка а). Если изменить схему коммуникаций и присоединить сборный трубопровод к промежуточному резервуару 2, откуда она будет откачиваться насосами подкачки первого подъема 3, то требуемый напор погружных насосов снизится. Из совмещенного графика характеристик насоса и трубопровода до и после реконструкции, т.е. на участках до точек а и б, следует, что подача насоса увеличилась.

Напор, создаваемый насосом, зависит от степени засорения напорных трубопроводов, чаще всего – водоподъемной трубы, на которой крепится насосный агрегат.



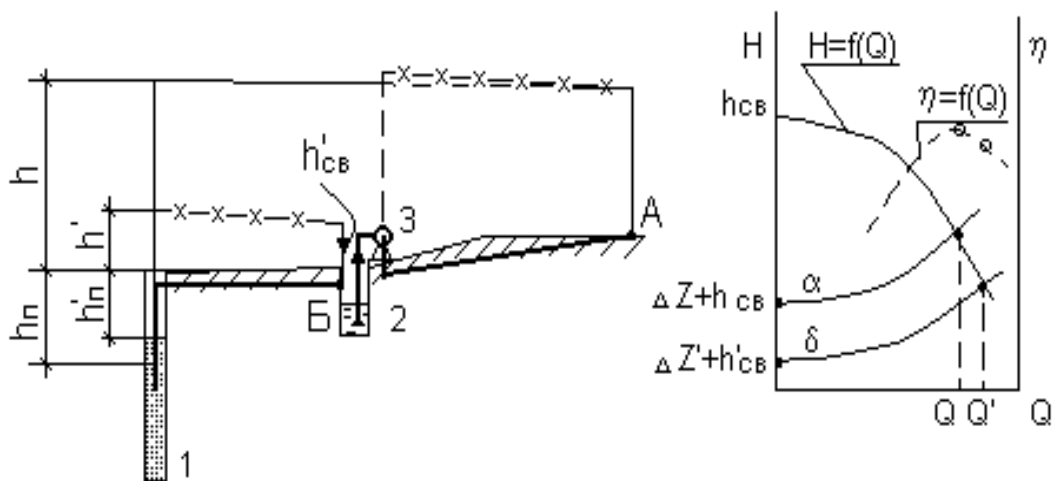


Рис. 2.10. Схема реконструкции водозабора: 1 – скважина; 2 – промежуточный резервуар; 3 – насос подкачки первого подъема; а – характеристика трубопровода до реконструкции; б – то же после реконструкции;  $\Delta Z$  и  $\Delta Z'$  – разность геодезических отметок земли в точках а, б и у скважины; - - - напорная линия до реконструкции; - - х - - напорная линия после реконструкции

Подобные явления встречаются при откачке железосодержащих подземных вод с отрицательным индексом насыщения, т.е. обладающих агрессивностью.

В этих случаях, а также для повышения надежности и экономичности водозабора, производится реконструкция скважин с демонтажом водоподъемных труб и подачей воды насосом непосредственно по обсадным трубам ствола скважины, т.е. беструбной установкой насосного агрегата. Насосный агрегат крепится на тросах, и эта нагрузка передается на устье скважины. Специальное устройство (пакерное) разделяет объем воды в скважине на области всасывания и нагнетания.

Существует несколько принципиально различающихся конструкций пакеров (см. [2]). На рис. 2.11 показан пакер механического действия. Уплотнительный элемент зажат между фланцем и опорным кольцом, что создает необходимую герметизацию. Электрокабель (не показан) пропускается через пакер, место прохода герметизируется при помощи сальника.

Реконструкция скважин на Киевском подземном водозаборе с беструбной установкой насосов обеспечила сокращение затрат электроэнергии за счет уменьшения напора, создаваемого насосами [6].

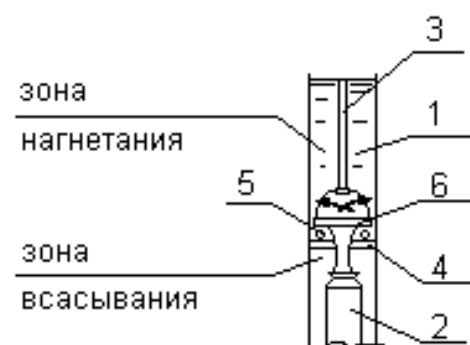


Рис. 2.11. Схема беструбной подвески с механическим пакером: 1 – обсадная труба; 2 – насосный агрегат; 3 – трос; 4 – опорное кольцо; 5 – уплотнительный элемент; 6 – фланец

Рост подачи приводит к снижению уровня подземных вод у скважины ( $h_n < h'_n$ ). Иногда результатом этого является обнажение насосного агрегата. Если размеры агрегата не позволяют его опустить, то целесообразно вакуумировать скважину, создавая вакуум-насосом пониженное давление в ее герметизированной надводной части. В этом случае, в зависимости от создаваемого вакуума, уровень воды в скважине поднимается выше динамического уровня подземных вод (рис. 2.12). Попутно отметим, что понижение динамического уровня особенно опасно для водозаборов с сифонным отбором воды из скважин. Ограничивающим фактором является допустимое по условиям надежной работы значение вакуума в водосборных трубах.

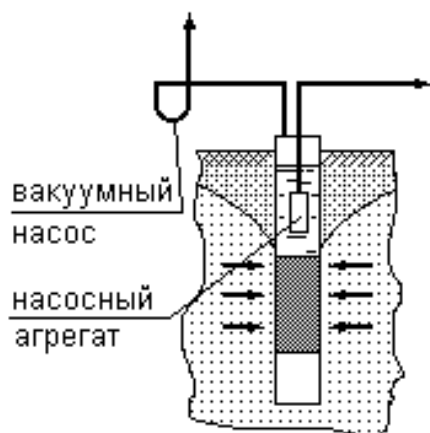


Рис. 2.12. Схема вакуумированной скважины

### 2.3.3. Реконструкция головных сооружений с применением высокопроизводительных скважин

Если лимитирующей оказывается суммарная площадь водозахватных поверхностей скважин, целесообразна замена существующих малопроизводительных скважин (всех или части) меньшим количеством высокопроизводительных. По мере реконструкции существующие скважины консервируются или ликвидируются. Разумеется, необходима реконструкция коммуникаций, пропускная способность которых должна соответствовать требуемым, более высоким расходам.

Размещение высокопроизводительных водозаборов на существующей площадке головных сооружений имеет ряд преимуществ. Отпадает необходимость освоения новых территорий, сохраняются зона санитарной охраны, часть коммуникаций и благоустройство, не нарушается расположение головных сооружений относительно других объектов водопровода.

Высокопроизводительные скважины должны обладать достаточной водозахватывающей способностью, для чего необходимо увеличение площади принимающей воду поверхности.

Система совмещенных скважин, применяемая в различных гидрогеологических условиях и, в частности, при слоистом строении водоносной толщи, представляет собой гравийный дренаж, водоприемная поверхность которого соответствует требуемой производительности водоприемника. Как следует из рис. 2.13, система состоит из ряда скважин с пересекающимися контурами. Они заполняются промытым, дезинфицированным гравием расчетных фракций. Вода, захватываемая дренажом,

поступает к рабочим скважинам, оборудованным стержневыми фильтрами и погружными насосами требуемой производительности.

По методу Бенсона, вокруг рабочей скважины бурят несколько скважин, которые заполняются гравием. При откачке из рабочей скважины гравий подсасывается, образуя кольцо с достаточно большой водозахватной поверхностью. Контролировать перемещение гравия к поверхности рабочей скважины трудно, в результате чего контакт гравия в рабочих и гравийно-питательных скважинах часто оказывается неполным [2].

Там же приводится и другая схема устройства гравийной обсыпки (рис. 2.14). До водоносного горизонта забой закрепляется кондуктором, затем опускается фильтр с башмаком-конусом, в ходе последующего бурения порода выбирается желонкой, а в забой подается гравий.

В двухколонных скважинах увеличение дебита достигается за счет равномерной загрузки поверхности фильтров. При одновременном отборе воды из скважины выше и ниже фильтра (из отстойника) действующий избыточный напор будет распределяться по длине фильтра равномерно, чем в обычных схемах (рис. 2.15, 2.9).

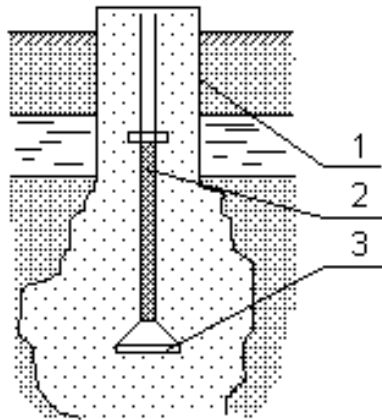


Рис. 2.14. Схема устройства гравийной обсыпки с применением башмака-конуса: 1 – обсадная труба; 2 – фильтр; 3 – башмак-конус

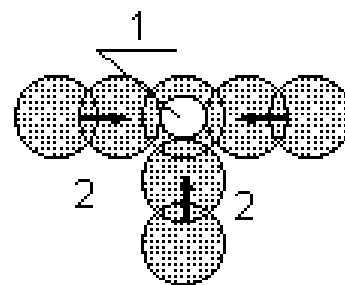


Рис. 2.13. Система совмещенных скважин: 1 – рабочая скважина; 2 – выработки, загруженные гравием

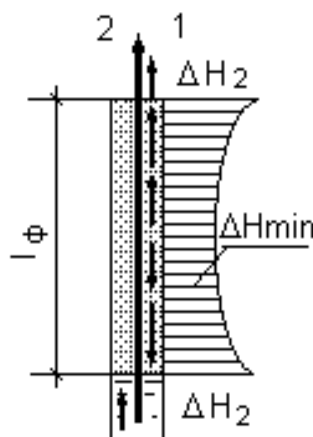


Рис. 2.15. Эпюра избыточного напора по длине фильтра при отборе воды в двух точках: 1 – верхний отвод; 2 – нижний отвод

Применение двухколонных скважин рекомендуется для интенсивного водосбора в пластах большей мощности. В работе [2] анализируется опыт эксплуатации скважин в г. Черкассы (Украина). В двухколонной

скважине в качестве водоподъемных труб использованы надфильтровая труба основной скважины (отбор из верхней зоны) и установленная в обсыпке параллельно фильтру, врезанная в отстойник дополнительная труба. Установлено, что двухколонные скважины имеют существенно большую подачу при почти неизменном удельном дебите, т.е. расходе в расчете на 1 м понижения уровня подземных вод. Откачка воды в двух точках особенно желательна, если породы имеют наибольшую водопроницаемость в нижней части водоносного слоя.

#### 2.3.4. Искусственное пополнение подземных вод как условие реконструкции

Метод искусственного пополнения подземных вод (ИППВ) позволяет реконструировать головные сооружения в тех случаях, если необходимо значительное превышение эксплуатационных запасов либо, если по различным причинам наблюдается недопустимо большое понижение уровня подземных вод.

Система ИППВ предполагает использование водоносного слоя в качестве подземного водохранилища, дополнительно пополняемого из поверхностных водных источников. Как известно, система ИППВ включает водозабор из поверхностного источника, установку для очистки и обеззараживания воды, инфильтрационные сооружения, предназначенные для подачи очищенной воды в водоносный пласт, соответствующие коммуникации и насосные установки.

В зависимости от гидрогеологических условий инфильтрационные установки выполняются в виде поглощающих колодцев или скважин, а также бассейнов с фильтрующим основанием.

При помощи ИППВ сезонные запасы подземных вод увеличивают эксплуатационные запасы и улучшают условия водозабора.

ИППВ создает условия для реконструкции головных сооружений с целью увеличения их производительности. При регулировании статического уровня представляется возможным полностью использовать водозахватную способность фильтров, применять водозаборы большой производительности. Вместе с тем ИППВ значительно удорожает и усложняет эксплуатацию головных сооружений. Метод ИППВ всегда является вынужденным и безальтернативным.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислить возможные причины нарушения работы руслового водоприемника.
2. Какие способы применяются для увеличения высоты всасывания насосов?
3. С какой целью применяется вакуумирование сеточного колодца?

4. Каким путем можно увеличить производительность руслового водозабора?
5. Каким образом можно улучшить работу водоприемника при увеличении в источнике слоя донных отложений?
6. В каких случаях применяется беструбная подвеска насоса в скважинах?
7. Перечислить способы увеличения производительности скважин.
8. В каких случаях применяют искусственное пополнение запасов подземных вод?

### **3. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ**

#### **3.1. Общие положения**

Система подачи и распределения воды (СПРВ) предназначена для бесперебойной подачи воды питьевого качества всем абонентам городского водопровода, а также для поливки территорий, зеленых насаждений и для пожаротушения.

Обязательными условиями функционирования СПРВ являются сохранение нормативного качества воды и поддержание на абонентских вводах требуемых свободных напоров. Кроме того, напоры в сети не должны превышать 60 м и быть менее 10 м.

СПРВ включает насосные станции второго и третьего подъемов, напорные и безнапорные резервуары, трубопроводы (водоводы, магистральная и распределительная сети).

Режим работы СПРВ обусловлен режимами водоразбора и подачи вод в систему трубопроводов.

Режим водоразбора складывается самопроизвольно, и для каждого населенного пункта он индивидуален. Характеризующие режим значения коэффициентов суточной и часовой неравномерности подлежат определению на основе натурных наблюдений и существенно отличаются от проектных [3].

Режим подачи воды следует по возможности приближать к режиму водоразбора, так как от этого зависит значение регулирующего объема в резервуарах.

В соответствии с этим условием назначается график работы насосных станций СПРВ.

При эксплуатации СПРВ нередки ситуации, когда напоры в водопроводной сети снижаются настолько, что нарушается нормальное водоснабжение большой группы абонентов, т.е. не выполняется одна из ее главных функций.

Если такое нарушение произошло не по вине эксплуатации, то необходима реконструкция.

Недопустимое снижение напоров объясняется их повышенными потерями из-за недостаточной пропускной способности трубопроводов.

Обычно это объясняется неконструктивностью сети, тем, что фактические расходы воды больше проектных или совместным воздействием указанных факторов.

Под неконструктивностью понимается несоответствие пропускной способности отдельных трубопроводов проектному потокораспределению.

Неконструктивность связана с ошибками в проектах вследствие неточного прогноза водопотребления. Общая схема водопроводной сети разрабатывается одновременно с составлением генерального плана населенного места, который реализуется на протяжении многих лет и неоднократно корректируется.

На рис. 3.1 показана схема застройки населенного места по первоначальному плану и сложившаяся в действительности. Зона *А* – существующая застройка, зона *Б* – проектируемая. На территории зоны *Б* предполагалось размещение наиболее крупных потребителей воды. Зона *В* отводилась под малоэтажную застройку. В соответствии с этими предпосылками точка питания сети намечалась в пределах зоны *Б*, т.е. в центре нагрузки, а вода для зоны *В* должна была поступать транзитом по сетям зоны *А*. Фактически размеры зоны *Б* значительно уменьшились, но на северо-западе образовалась зона *Г* с крупными потребителями воды.

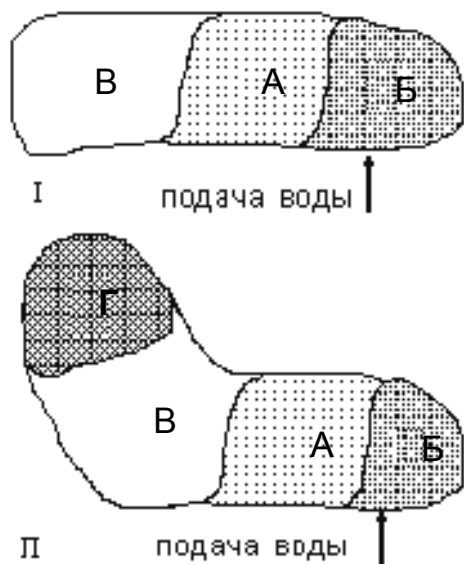


Рис. 3.1. Схема генплана: I – первоначальная; II – сложившаяся; *А* – существующая застройка; *Б* – зона интенсивного водопотребления; *В* – зона малоэтажной застройки; *Г* – зона с крупными потребителями воды

Сети первой очереди строительства в пределах зоны *А* не обеспечивают транзита воды с требуемыми расходами в зону *Г*, а часть сетей, находящихся в зоне *Б*, имеет завышенные диаметры. Можно констатировать, что сеть объекта оказалась неконструктивной и нуждающейся в реконструкции.

Неконструктивность приводит к неэкономичности эксплуатации водопроводов, имеющих несколько насосных станций второго подъема. Распределение нагрузки между ними, оптимизированное на этапе проектирования, в изменившихся условиях может оказываться нерациональным и вызывающим перерасход электроэнергии,

Рост водопотребления приводит к перегрузке СПРВ, нарушая ее безотказность и экономичность, что наблюдается во многих городах России.

Исходной базой для проекта реконструкции служит эквивалентная расчетная схема системы, составляемая по результатам изучения работы СПРВ и уточнения действительных значений гидравлических сопротивлений трубопроводов.

На рис. 3.2 приведена карта изопьез (линий равных напоров) по результатам обследования водопроводной сети одного из сибирских городов управлением «Сибводоканалналадка».

На графике видны участки с пониженной пропускной способностью, на которых изопьезы расположены с большой плотностью, а также – мало загруженные участки сети.

Возможные результаты реконструкции проверяются гидравлическими расчетами с использованием эквивалентной схемы.

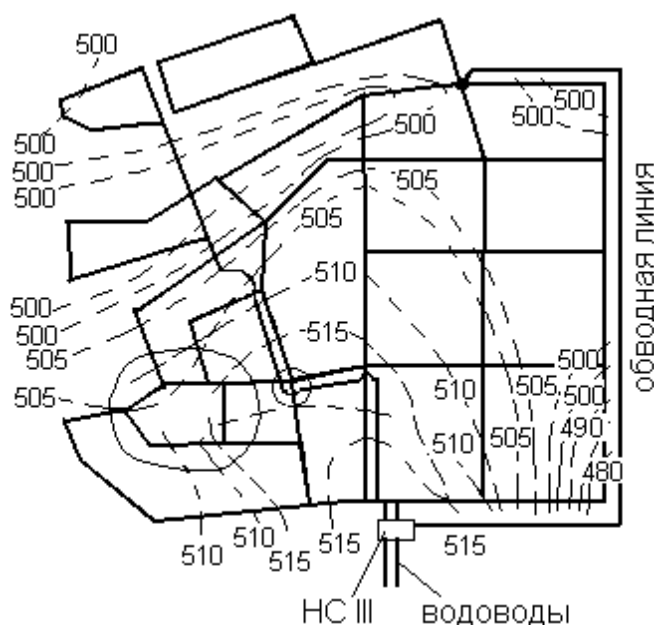


Рис. 3.2. Карта изопьез

### 3.2. Усиление неконструктивных водопроводных сетей

В результате гидравлического расчета эквивалентной схемы для расходов в характерные часы суток (максимальное водопотребление, то же пожаротушение, максимальный транзит воды в водонапорные емкости) определяются перегруженные и недогруженные участки трубопроводов. Перегруженные участки являются теми лимитирующими элементами, которые нуждаются в усилении и в разгрузке. Недогруженные участки иногда оказываются возможными потенциальными резервами для усиления.

Обычно пропускная способность трубопроводов при проектировании принимается для гидравлического уклона 3–5 м/км, такие же значения гидравлических уклонов могут приниматься в качестве критерия перегрузки или недогрузки.

Расположение перегруженных участков и конкретные условия, вызывающие перегрузку – факторы, учитываемые при обосновании реконструкции.

Если перегрузка связана с тем, что к трубопроводу присоединены крупные абоненты, ее можно попытаться уменьшить присоединением части абонентов к другим, неперегруженным или недогруженным линиям.

Такой прием не приводит к радикальному решению задачи, но после разгрузки свободный напор в конце участка несколько повышается. Реконструкция предусматривает строительство новых вводов, иногда – большой протяженности (рис. 3.3).

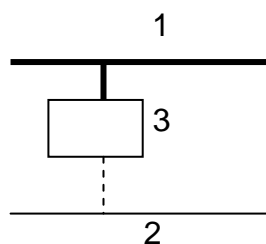


Рис. 3.3. Схема разгрузки переключением абонентов:  
1 – перегруженная линия;  
2 – незагруженная линия;  
3 – абонент; 4 – новый ввод водопровода

Разгрузка линий достигается их дублированием. Строительство параллельных линий снижает перегрузку участков на 20 % и более при относительно небольшой протяженности дополнительно прокладываемых трубопроводов [6].

По данным управления «Сибводоканалналадка», прокладка дублирующей магистрали длиной 1,1 км в г. Йошкар-Ола повысила пропускную способность системы на 30 %. Осо-

бенно эффективно дублирование в том случае, когда представляется возможным использовать существующие незагруженные линии больших диаметров путем строительства дополнительных перемычек. Так было достигнуто увеличение сводных напоров в Кемерово и в Уфе на 5–6 м, причем длина перемычек не превышала нескольких десятков метров.

Очень часто неконструктивность проявляется в неудачном расположении точек питания, т.е. мест присоединения к сети водоводов от насосных станций второго подъема (питателей). Точки питания следует размещать в центре нагрузки и вблизи основных потребителей воды. Это позволяет сократить длину трубопроводов, по которым направляются основные транзитные потоки. Исправление неконструктивности сети в отдельных случаях достигается переносом либо устройством дополнительных точек питания.



Рис. 3.4. Разгрузка изменением потока распределения

Транзитный поток воды может быть направлен в точку питания, расположенную в центре зоны интенсивного водоразбора, по дополнительной обводной линии (рис. 3.2).

На рис. 3.4 приведена схема реконструкции водопровода, предложенная для одного из сибирских городов управлением «Сибводоканалналадка». Селитебная территория имела характерную конфигурацию, что позволило за счет строительства обводной линии небольшо-

й протяженности изменить потокораспределение, разгрузить существующие сети старой и обеспечить водой районы новой застройки.

Неконструктивность сетей также исправляется методом зонирования.

Теория зонирования сетей водоснабжения была разработана профессором Н.Н. Абрамовым и обосновывалась соображениями эконо-



мичности [7]. При реконструкции последовательное зонирование оказывается вынужденным в связи с технической невозможностью поддержания в пределах всей сети требуемых свободных напоров.

На рис. 3.5 представлена принципиальная схема последовательного зонирования с непосредственным присоединением к сетям нижней зоны насосов третьего подъема. Сети первой (нижней) и второй (верхней) зон разделяются путем полного закрытия задвижек либо с их демонтажем и с установкой заглушек в соответствующих колодцах.

На границе раздела зон свободные напоры в сети нижней зоны сохраняют требуемые значения. После насосов третьего подъема напор в сети повышается до расчетного значения  $H_2$ , необходимого для поддержания во всей верхней зоне нужных свободных напоров  $H_{св}$ .

Непосредственное присоединение позволяет сохранить напор, при котором вода поступает из нижней зоны. Заметим, что при подборе насосов следует проверить, могут ли они по своим техническим характеристикам эксплуатироваться с таким подпором.

При непосредственном присоединении поступление воды к насосной станции третьего подъема осуществляется по сетям нижней зоны неравномерно и в соответствии со ступенчатым графиком работы НС-3. В случае пожаротушения вода в верхнюю зону может подаваться либо через НС-3 либо по обводной линии, минуя станцию, из сети нижней зоны. Эти условия определяются при проверочных гидравлических расчетах сети. Недостатком непосредственного присоединения являются неравномерная в течение суток нагрузка в сети нижней зоны, необходимость синхронной работы насосных станций второго и третьего подъемов (они соединены последовательно), изменение скоростей в сетях нижней зоны в момент включения и выключения насосов третьего подъема, что приводит к умеренным, но систематически возникающим гидравлическим ударам.

Следует иметь в виду, что непосредственное присоединение разрешается, если напоры в сетях нижней зоны превышают 10 м.

На рис. 3.6 приведены схемы присоединения НС-3 с разрывом струи, т.е. по независимой схеме. Для того чтобы избежать больших потерь напора на излив, вода из сети нижней зоны поступает в водонапорную емкость, высотное положение которой позволяет использовать свободный напор в сети нижней зоны.

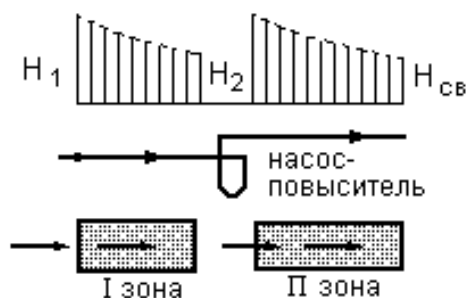


Рис. 3.5. Последовательное зонирование. Эпюры напоров: - - - напорные линии

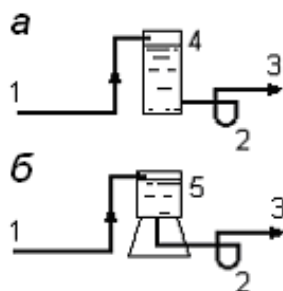


Рис. 3.6. Схемы присоединения водовода к водонапорному сооружению: а — колонна; б — башня; 1 — водовод; 2 — насос III подъема; 3 — напорный трубопровод; 4 — водонапорная колонна; 5 — водонапорная башня

В схеме а водонапорное сооружение — водонапорная колонна, в схеме б — водонапорная башня. В водонапорных емкостях могут содержаться регулирующий и пожарный запасы воды. Регулирующий объем назначается по условиям несовпадения графиков откачки воды насосами третьего подъема и поступления воды в емкость из сети нижней зоны. Это поступление может назначаться равномерным в течение суток, или пониженным в часы максимального и повышенным — минимального водоразбора абонентами нижней зоны. Тогда сети нижней зоны оказываются в определенной мере разгруженными, так как уменьшаются транзитные потоки в часы максимального водоразбора. Режим поступления и откачки воды и вместимость водонапорных сооружений оптимизируется поверочными гидравлическими и

техничко-экономическими расчетами, выполняемыми по обычным методикам. Необходимость хранения запаса воды на пожаротушение и установка на НС-3 пожарных насосов так же обосновываются расчетами.

От хранения пожарного запаса можно отказаться, если имеется возможность вести пожаротушение с подачей воды насосной станцией второго подъема. Как отмечалось, в этом случае вода подается в сеть верхней зоны по обводной линии у НС-3.

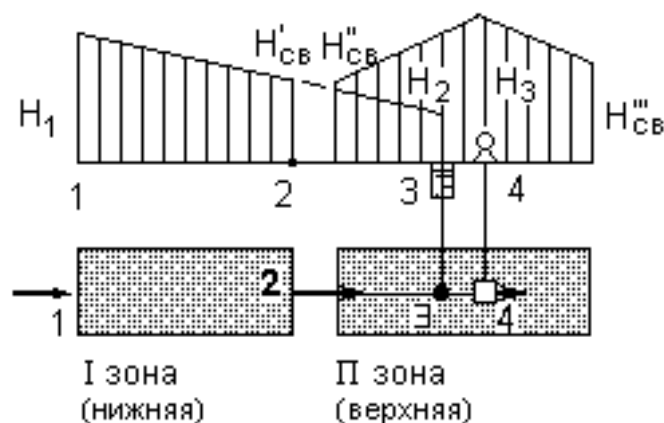


Рис. 3.7. Зонирование с независимым присоединением. Эпюры напоров: 1 — точка питания I зоны; 2 — присоединение водовода из I во II зону; 3 — приемный резервуар; 4 — НС-3

Если вместимость водонапорных сооружений оказывается нецелесообразно большой, независимое присоединение верхней зоны к нижней производится по схеме (рис. 3.7). Вода из точки 2 нижней зоны поступает в заземленный резервуар верхней зоны 3. Во избежание больших потерь напора при изливе в резервуар он удален от точки 2, в которой поддерживается свободный напор  $H_{св}$ , например, при пятиэтажной жилой застройке в нижней зоне — 26 м. Диаметр

транзитного водовода на участке 2—3 и его длина назначаются с таким расчетом, чтобы НС-3 оказалась в центре нагрузки, а свободный напор перед

резервуаром был минимальным, т.е.  $H_2 = 10$  м. Вместимость заземленного резервуара определяется из условий работы сетей нижней зоны, в нем же хранится необходимый пожарный запас. Насосы третьего подъема создают напор  $H_3$  достаточный для поддержания в верхней зоне требуемых свободных напоров  $H''_{\text{св}}$  и  $H'''_{\text{св}}$ . Верхняя зона – это самостоятельная система, связанная с нижней зоной соблюдением лишь одного условия – удобного для сетей нижней зоны транзита суточного расхода воды.

Существует мнение, что каждая зона должна иметь только одну точку питания от насосной станции. В практике эксплуатации систем водоснабжения еще не было получено положительного результата стабильной работы двух насосных станций, одновременно подающих воду в одну зону [7].

Рассмотренные способы исправления неконструктивности сети связаны с новым строительством. Задача заключается в том, чтобы выбрать оптимальное по технико-экономическим соображениям решение.

### **3.3. Реконструкция сетей при гидравлической перегрузке**

Гидравлическая перегрузка, т.е. рост водопотребления объекта сравнительно с расчетным, сказывается на условиях функционирования всех элементов СПРВ. Увеличение подачи насосов второго подъема приводит к уменьшению создаваемых ими напоров, возрастают потери напора в водоводах и в водопроводной сети, падают свободные напоры у абонентов.

Повышение производительности СПРВ достигается регулированием режимов водоподдачи и водоразбора либо путем усиления отдельных элементов системы.

#### **3.3.1. Регулирование режимов водоподдачи и водоразбора**

Известно, что элементы СПРВ рассчитываются на максимальные часовые расходы воды, которые фактически наблюдаются только несколько часов в сутки. В остальное время сооружения загружены частично. Временная загруженность объектов рассматривается как ресурс, используемый для преодоления суточной перегрузки.

Ступенчатый график работы НС-2 изменяется таким образом, чтобы продолжительность работы ступени с наибольшей подачей была увеличена, если нужно, до 24 часов. Иными словами, станция переводится на режим равномерной круглосуточной работы, и суточная подача воды в сеть возрастает. Перевод на одноступенчатый режим не требует переделок ни насосной станции, ни водоводов, поскольку для них сохраняются расчетные условия.

Вместе с тем возникает необходимость в повышении вместимости водонапорных резервуаров на сети, так как регулирующий объем становится больше. В табл. 3.1 приводятся его значения в процентах от суточного

расхода воды в зависимости от коэффициента часовой неравномерности водопотребления и при равномерной круглосуточной подаче в сеть.

Таблица 3.1

Регулирующие объемы от суточного расхода, %

$K_{\text{час}}$	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$W_p$	3,5	5,1	6,7	8,2	9,6	12,3	14,8	17,1	19,3	21,3	23,3	25,0

Для уменьшения коэффициента часовой неравномерности ( $K_{\text{час}}$ ) в обоснованных случаях предусматривается зонирование сети по схеме на рис. 3.7. В зоны выделяются крупные промышленные потребители воды, а также отдельные районы застройки. Относительно дешевые приемные резервуары зон вмещают дополнительные регулирующие объемы воды и этим выравнивают водоразбор в течение суток.

Перевод НС-2 на более равномерный режим работы уменьшает регулирующий объем в резервуарах чистой воды и на столько же увеличивает его в напорных или безнапорных резервуарах на сети. Соответственно уменьшение коэффициента неравномерности водоразбора в нижней зоне при регулируемой подаче воды в верхнюю зону уменьшает регулирующий объем в нижней, но увеличивает его в верхней зоне. Таким образом достигается только перераспределение общего регулирующего объема между резервуарами зон и РЧВ.

Поскольку при реконструкции суточный расход воды должен возрасти сравнительно с проектным, суммарная вместимость резервуаров системы увеличивается.

Увеличение вместимости резервуаров на сети снижает временные перегрузки, повышает устойчивость системы водораспределения. Существует мнение о целесообразности увеличения вместимости напорных и безнапорных резервуаров СПРВ. В 1999 г. суммарная вместимость резервуаров на сетях московского водопровода достигла 40 % суточного расхода воды и в дальнейшем планируется ее увеличение до 70 %. С другой стороны, длительное пребывание в трубопроводах и резервуарах может вызвать ухудшение качества воды и недопустимое снижение содержания хлора, являющегося индексом санитарного благополучия. Как известно, в таких случаях рекомендуется хлорирование с аммонизацией. Хотя образующиеся хлорамины и обладают более низкой, чем хлор, бактерицидностью, они дольше сохраняются в воде.

### 3.3.2. Реконструкция насосной станции второго подъема и водоводов

Решение этой задачи в общих чертах рассмотрено в подразд. 1.1. Увеличение суточного расхода воды может потребовать замены насосного оборудования, а превышение пропускной способности водоводов достигается либо повышением напора насосов первого подъема, либо снижением свободного напора в точке питания сети, либо прокладкой дополнительных ниток водоводов.

Наиболее перспективным способом регулирования насосов следует считать увеличение числа оборотов. Возможности этого способа ограничены конструктивными и техническими характеристиками установленных на станции насосов; максимально допустимое число оборотов отечественных водопроводных насосов не превышает 2900–3000 об/мин. Иногда на станции установлены насосы с уменьшенным диаметром рабочего колеса; в этом случае возможно повышение производительности путем замены колес. Если подача насосной станции второго подъема должна быть существенно увеличена, чаще всего заменяют насосные агрегаты либо увеличивают их количество расширением насосной станции.

Прокладка дополнительных ниток водоводов приводит к снижению потерь напора, и подача насосов повышается. Аналогичные условия возникают, если при зонировании предусматривается снижение напора в точке питания нижней зоны – напора  $H_1$  (рис. 3.1).

Поверочные расчеты вариантов реконструкции обычно производятся графоаналитическим путем с построением совмещенных характеристик насосов и водоводов. Приводим аналитический метод расчета.

Уравнение характеристики водовода, состоящего из нескольких параллельных ниток

$$H = S_{\text{общ}} Q^2 + \Delta, \quad (3.1)$$

где  $S_{\text{общ}}$  – общий коэффициент сопротивления водовода,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $Q$  – расчетный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta = H_{\text{св}} + (Z_{\text{тп}} - Z_0)$ ;  $H_{\text{св}}$  – свободный напор в точке питания по результатам гидравлического расчета существующей водопроводной сети, м;  $Z_{\text{тп}}$ ,  $Z_0$  – геодезические отметки земли в точке питания и расчетного уровня воды в РЧВ, м.

Общий коэффициент сопротивления водовода, состоящего из  $N$  параллельно расположенных ниток с коэффициентами сопротивлений  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ .

$$\frac{1}{\sqrt{S_{\text{общ}}}} = \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_N}}. \quad (3.2)$$

Если коэффициенты сопротивлений всех ниток  $N_B$  одинаковы и равны  $S$ , то

$$S_{\text{общ}} = \frac{S}{N_B^2}. \quad (3.3)$$

Согласно известной формуле Е.А. Прегера напор, создаваемый центробежным насосом,

$$H_H = h_{\text{пр}} + \beta^2 - S_H Q^2, \quad (3.4)$$

где  $h_{\text{пр}}$ ,  $S_H$  – параметры, зависящие от типоразмера насоса (см. табл. 3.2);  $\beta = n_{\text{ф}}/n_{\text{б}}$  – коэффициент, равный отношению принятого числа оборотов насоса  $n_{\text{ф}}$  к базовому числу оборотов  $n_{\text{б}}$ .

Таблица 3.2

Параметры некоторых водопроводных насосов

Марки	Диаметр рабочего колеса, мм	Базовое число оборотов, об/мин	Область применения			Параметры	
			$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$H$ , м	$\eta$ , %	$h_{\text{кр}}$ , м	$S_H$ , с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup>
10 Д6	465	1450	70–170	72–53	72–75	78	792
	432	1450	70–170	60–42	72–75	64	750
10 Д9	366	1450	80–180	47–40	72–75	49	269
	345	1450	80–160	40–28	72–75	44	632
	325	1450	80–130	35–25	72–75	41	950
12 Д6	545	1450	140–300	100–70	68–70	109	426
	495	1450	140–260	80–60	68–70	88	417
14 Д6	660	1450	240–512	130–80	68–70	158	284
	610	1450	240–480	115–70	68–70	132	265
12 Д9	432	2950	120–280	58–40	68–70	67	219
	395	2950	120–260	52–32	68–70	63	376
	365	2950	120–220	42–27	68–70	48	441
14 НДС	540	1450	230–600	100–80	72–75	103	65
	510	1450	230–560	88–65	72–75	93	88
	480	1450	230–530	85–55	72–75	86	110
12 НДС	460	1450	180–440	72–52	72–75	76	125
	440	1450	180–400	62–48	72–75	66	110
	400	1450	180–380	52–40	72–75	55	107
20 НДс	765	960	450–1200	85–50	65–70	90	28

При параллельной работе  $N_H$  одинаковых насосов

$$H_H = h_{\text{пр}} + \beta^2 - S_H \left( \frac{Q}{N_H} \right)^2. \quad (3.5)$$

По условиям совместной параллельной работы центробежных насосов на водовод из нескольких ниток

$$h_{\text{пр}} + \beta^2 - S_{\text{н}} \left( \frac{Q}{N_{\text{н}}} \right)^2 = S_{\text{общ}} Q^2 + \Delta. \quad (3.6)$$

Из этого уравнения легко определить значения тех показателей, которые предполагается изменять в процессе реконструкции. Пропускная способность водовода

$$Q = \sqrt{\frac{h_{\text{пр}} \beta^2 - \Delta}{S_{\text{общ}} - \frac{S_{\text{н}}}{N_{\text{н}}^2}}}. \quad (3.7)$$

При реконструкции, предусматривающей изменение числа оборотов насоса, это число равно определяется по формуле

$$n_{\text{ф}} = n_{\text{б}} \sqrt{\frac{(S_{\text{общ}} + S_{\text{н}}/N_{\text{н}}^2) Q^2 + \Delta}{h_{\text{пр}}}}. \quad (3.8)$$

При реконструкции с прокладкой дополнительной нитки водовода ее диаметр определяется следующим образом: требуемое значение коэффициента сопротивления водовода с учетом дополнительной нитки

$$S_{\text{общ}} = \frac{h_{\text{пр}} \beta^2 - S_{\text{н}} (Q/N_{\text{н}})^2 - \Delta}{Q^2}. \quad (3.9)$$

Сопротивление дополнительной нитки определяется по формуле

$$S_{\text{х}} = \left( \frac{1}{1/\sqrt{S_{\text{общ}}} - 1/\sqrt{S_{\text{общ}}^*}} \right)^2, \quad (3.10)$$

где  $S_{\text{общ}}^*$  – общее сопротивление существующего водовода (до реконструкции).

Коэффициент удельного сопротивления труб дополнительной нитки,  $\text{с}^2/\text{м}^5$

$$A = \frac{S_{\text{х}}}{L}, \quad (3.11)$$

где  $L$  – длина дополнительной нитки, м.

По значению  $A$  и по [8] определяется диаметр труб из принятого материала (чугун, сталь и др.).

Если реконструкция предполагает увеличение количества параллельно работающих насосов, то оно определяется по зависимости

$$N_{\text{н(тр)}} = \sqrt{\frac{Q^2 S_{\text{н}}}{Q^2 S_{\text{общ}}^* - h_{\text{пр}} \beta^2 + \Delta}}. \quad (3.12)$$

**Пример.** На насосной станции второго подъема установлены четыре насоса марки 12Д-6 с диаметром рабочего колеса 495 мм, работающие при числе оборотов  $n_{\text{ф}} = n_{\text{б}}$  об/мин ( $\beta = 1,0$ ). Два насоса рабочие, два – резервные. Вода подается по водоводу из двух ниток одинакового диаметра длиной 5 км. Свободный напор в точке питания  $H_{\text{св}} = 50$  м, высота подъема воды  $z_{\text{тп}} - z_0 = 8$  м. При подаче  $Q_{\text{ф}} = 0,3$  м<sup>3</sup>/с насосы создают напор  $H = 80$  м.

Рассмотреть возможные варианты реконструкции насосной станции и водоводов с целью увеличения подачи не менее чем до  $Q = 0,4$  м<sup>3</sup>/с.

Представляются возможными следующие варианты: замена рабочих колес на колеса диаметром 545 мм; увеличение числа оборотов насосов, прокладка дополнительной третьей нитки водовода, установка в насосной станции дополнительного насосного агрегата.

Предварительно определяем коэффициент сопротивления существующего водовода. Из формулы (3.1)

$$S_{\text{общ}}^* = \frac{H - \Delta}{Q_{\text{ф}}^2} = \frac{80 - 58}{0,3^2} = 214 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Значения параметров насоса 12Д-6 с диаметрами рабочего колеса 495 и 545 мм принимаем из табл. 3.2.

### **Подача при увеличении диаметра рабочего колеса насоса**

По формуле 3.7:

$$Q = \sqrt{\frac{109 \cdot 1,0 - 58}{244 + (436/2^2)}} = 0,38 < 0,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рассмотрим тот же вариант при условии уменьшения свободного напора в точке питания, что должно быть учтено при реконструкции водопроводной сети и не всегда возможно. После преобразования формулы (3.7) получим

$$\Delta = \beta^2 h_{\text{пр}} - Q^2 (S_{\text{общ}}^* + S_{\text{н}}/N_{\text{н}}^2) = 109 \cdot 1,0 - 0,4^2 (244 + 426/4) = 53.$$



Поскольку высота подъема  $z_{\text{тп}} - z_0 = 8$  м остается неизменной, свободный напор в точке питания должен быть уменьшен на  $58 - 53 = 5$  м и составит  $50 - 5 = 45$  м.

Вариант реконструкции требует небольшого объема работ.

### **Увеличение числа оборотов существующих насосов**

Расчет выполняется по формуле (3.8):

$$n_{\text{ф}} = 1450 \sqrt{\frac{0,4^2(244 + 417/2^2)}{88}} = 1648 \text{ об/мин.}$$

При реконструкции необходима замена или переделка двигателей и установка частотных преобразователей тока, уменьшение числа оборотов вновь устанавливаемых двигателей (например, от 2900 до 1648 об/мин, т.е. более чем на 40 %, что может оказаться неэкономичным).

### **Прокладка дополнительной нитки водовода**

Рассматривается два подварианта: без изменения и с изменением диаметра рабочего колеса насосов. Расчет производится по формулам (3.8)–(3.11).

#### **Диаметр рабочего колеса не изменяется (495 мм)**

$$S_{\text{общ}} = \frac{88 - 417 (0,4/2)^2 - 58}{0,4^2} = 83,25 \text{ с}^2/\text{м}^5;$$

$$S_x = \left( \frac{1}{1/\sqrt{83,25}} - \frac{1}{1/\sqrt{244}} \right)^2 = 400 \text{ с}^2/\text{м}^5;$$

$$A_{\text{расч}} = \frac{400}{5000} = 0,08 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

По табл. 3.4. [8] приняты трубы чугунные напорные класса А, диаметром 500 мм ( $A = 6778 \cdot 10^{-5} < A_{\text{расч}}$ ).

#### **Диаметр рабочего колеса увеличивается (545 мм)**

$$S_{\text{общ}} = \frac{109 - 436 (0,4/2,0)^2 - 58}{0,4^2} = 209,75 \text{ с}^2/\text{м}^5;$$

$$S_x = \left( \frac{1}{1/\sqrt{209,75}} - \frac{1}{1/\sqrt{244}} \right)^2 = 40000 \text{ с}^2/\text{м}^5;$$

$$A_{\text{расч}} = \frac{40000}{5000} = 8 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Приняты чугунные трубы класса ЛА диаметром 200 мм.

Варианты связаны с большим объемом работ. Увеличение диаметра рабочего колеса насоса позволяет значительно снизить их стоимость.

### **Реконструкция с увеличением количества насосных агрегатов**

Расчет производится по формуле (3.12) для насосов с рабочим колесом диаметром 495 мм.

$$N_n = \sqrt{\frac{0,4^2 \cdot 417}{0,4^2 \cdot 244 + 88 + 58}} = 2,72 \approx 3 \text{ шт.}$$

Увеличение количества рабочих насосов до трех требует сложных работ по реконструкции здания насосной станции и внутристанционных коммуникаций.

Выбор варианта нуждается в более детальной проработке и в технико-экономических обоснованиях.

Как отмечалось, одновременно с выбором схемы реконструкции насосной станции второго подъема и водоводов следует решить вопросы реконструкции водопроводной сети и сетевых сооружений (резервуары, насосные станции третьего подъема).

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Перечислить причины ухудшения работы систем подачи и распределения воды.
2. Какие подготовительные работы следует выполнить для определения «слабых» мест в системе СПРВ?
3. Как следует выбирать точку питания?
4. Как выполняется зонирование с независимым питанием?
5. Каковы пути уменьшения регулирующего объема в резервуарах чистой воды?
6. К изменению каких параметров сети приводит прокладка дополнительных ниток водоводов?
7. Как определяется общий коэффициент гидравлического сопротивления водовода из нескольких ниток?

## **4. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ОТВЕДЕНИЯ ВОДЫ**

### **4.1. Общие положения**

Система отведения воды (СОВ) предназначена для сбора сточной воды, поступающей от абонентов, и ее отведения на очистные сооружения. В состав СОВ входят самотечные коллекторы, канализационные насосные станции и напорные водоводы.

Функция СОВ заключается в бесперебойном отведении сточной воды при поддержании необходимых санитарно-гигиенических и экологических условий и при соблюдении требований безопасности.

Нормальное функционирование сетей водоотведения связано с ограничением степени заполнения самотечных линий, так как это необходимо для удаления выделяющихся газов. Кроме того, уменьшается вероятность подпора, вызывающего инфильтрацию воды и загрязнение грунта и грунтовых вод, а иногда – излива сточных вод на поверхность. Заметим, что при напорном движении в трубах создаются анаэробные условия, благоприятствующие образованию высокотоксичного сероводорода.

Отказы канализационной насосной станции (КНС) приводят к аварийному сбросу воды в водостоки или водные объекты, т.е. к недопустимому нарушению экологических требований.

Причинами реконструкции СОВ являются постоянная или частая перегрузка водоотводящих сетей с возникновением подпоров, а также аварийные сбросы сточных вод. Такие ситуации связаны с неконструктивностью сетей или с обоснованным увеличением расходов сточных вод сравнительно с расчетными.

Формирование стока, поступающего в СОВ, не поддается регулированию. Коэффициенты неравномерности притока часто отличаются от расчетных, что может оказаться причиной временной перегрузки системы. Например, фактическое значение максимального коэффициента часовой неравномерности притока воды на Курьяновскую станцию аэрации г. Москвы, обслуживающую жилой массив с населением в несколько миллионов человек, составляет 1,1, а иногда 1,4, т.е. приближается к значениям максимального коэффициента секундной неравномерности [9]. В соответствии с нормативами [10], сети водоотведения рассчитываются на максимальный секундный, а сооружения, в том числе КНС – на среднесекундный расход в час максимального водоотведения.

Неравномерность загрузки элементов СОВ в течение суток – резерв, который следует использовать при усилении системы.

При исследовании работы системы водоотведения выявляются элементы (коллекторы, насосные станции), работающие с систематической и недопустимой перегрузкой и поэтому лимитирующие и недогруженные, которые могут рассматриваться как резерв производственных возможностей, подлежащий использованию при усилении.

Сети отдельных бассейнов стока выполнены по тупиковой схеме, что предопределяет постоянный маршрут движения потоков и делает невозможным регулировать в процессе эксплуатации потокораспределение.

## 4.2. Усиление неконструктивных схем системы отведения воды

По результатам анализа эксплуатации СОВ определяются участки сетей, нуждающиеся в усилении, и незагруженные участки.

Определенный эффект может быть получен, если имеется возможность изменить точки присоединения крупных абонентов (кварталы жилой территории, промышленные объекты) таким образом, чтобы разгрузить перегруженные и загрузить недогруженные линии. В случаях, когда такие присоединения нельзя выполнить путем прокладки самотечных трубопроводов, предусматривают установку КНС (рис. 4.1). Как следует из рисунка, с целью разгрузки перегруженного коллектора бассейна стока № 1 ликвидируется существующий выпуск 5 абонента 3 и стоки отводятся в коллектор бассейна № 2 по новому выпуску 6, для чего потребовалось строительство КНС 4.

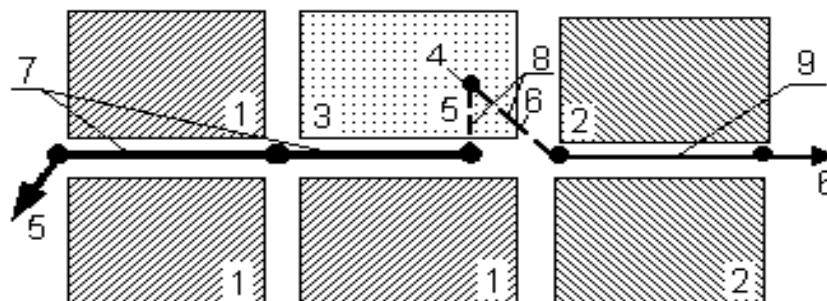


Рис. 4.1. Схема изменения места выпуска: 1 – кварталы бассейна стока № 1; 2 – то же № 2; 3 – абонент (пром. предприятие); 4 – КНС; 5 – существующий выпуск (ликвидируемый); 6 – новый выпуск; 7 – перегруженная линия; 8 – напорная линия; 9 – ненагруженная линия

На рис. 4.2 приведен фрагмент сети водоотведения. Железная дорога делит территорию на два бассейна стока. Один из участков коллектора, собирающего воду первого бассейна, перегружен, в то время как вследствие неконструктивности сети коллектор второго бассейна незагружен.

Перегрузка устраняется переброской части стока из коллектора первого бассейна в коллектор второго, в зависимости от условий, по самотечной или, как на рисунке, по напорной линии.

Неравномерность притока сточных вод в течение суток позволяет использовать для разгрузки временно перегруженных трубопроводов резервуары-регуляторы.

На рис. 4.3 приведен вариант узла регулировки, включающего резервуар и насосную станцию. Сточные воды поступают в резервуар, откуда равномерно откачиваются с расходом, допустимым для коллектора, расположенного ниже. При необходимости резервуар может отключаться и сточные во-

ды направляют непосредственно в нижний участок. Вместимость резервуара-регулятора для приведенной схемы следует определять по [10].

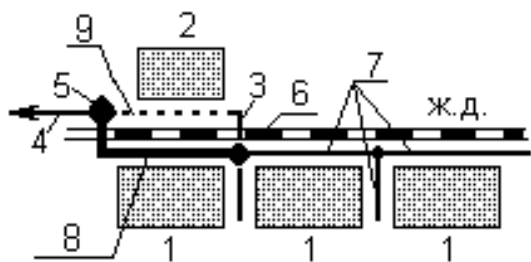


Рис. 4.2. Схема разгрузки участка коллектора: 1 – кварталы бассейна стока № 1; 2 – то же № 2; 3 – напорная линия проектируемая; 4 – то же существующая; 5 – ГНС; 6 – КНС; 7 – самоотечный коллектор; 8 – перегруженный; 9 – мало загруженный

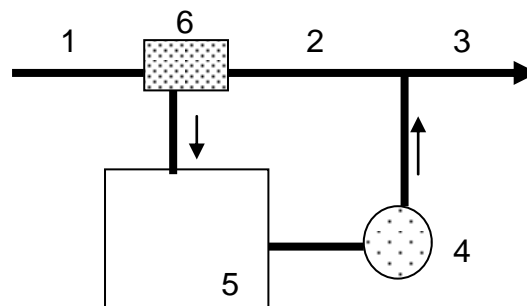


Рис. 4.3. Схема регулирующего узла: 1 – подводящий коллектор; 2 – отключаемый участок; 3 – разгруженный коллектор; 4 – КНС; 5 – регулирующий резервуар; 6 – камера переключения

**Пример.** Коллектор из керамических канализационных труб диаметром 600 мм проложен с уклоном 0,002. Пропускная способность коллектора при максимально допустимом заполнении 0,75 равна 720 м<sup>3</sup>/ч [11]. По результатам наблюдений суточный расход сточных вод составляет 15000 м<sup>3</sup>/сут, т.е. среднечасовой расход равен  $q_{mid} = 625$  м<sup>3</sup>/ч. Максимальный расход, наблюдаемый несколько раз в сутки  $q_{max} = 1000$  м<sup>3</sup>/ч. При этом расходе происходит подтопление коллектора. Необходимо определить регулируемую емкость. Расчет выполняется по п. 6.55 [10].

Коэффициент неравномерности притока максимальный:

$$K_{gen} = \frac{q_{max}}{q_{mid}} = \frac{1000}{625} = 1,60.$$

Подача насосов, откачивающих воду из резервуара, принимается равной пропускной способности коллектора:  $q_H = 720$  м<sup>3</sup>/ч.

Тогда, коэффициент неравномерности после регулирования

$$K_{reg} = \frac{q_H}{q_{mid}} = \frac{720}{625} = 1,15.$$

$$\text{Вспомогательный коэффициент } \gamma_{reg} = \frac{K_{reg}}{K_{gen}} = \frac{1,15}{1,60} = 0,72.$$

Этому значению соответствует значение коэффициента  $\gamma_{reg} = 2,60$  (табл. 29, [10]).

Вместимость регулирующей емкости определяется по формуле

$$W_{\text{пер}} = \tau_{\text{пер}} q_{\text{mid}} = 2,60 \cdot 625 = 1625 \text{ м}^3.$$

Суточный расход воды перекачивается за 21 час работы насосов; в случае необходимости продолжительность работы насосов может быть увеличена.

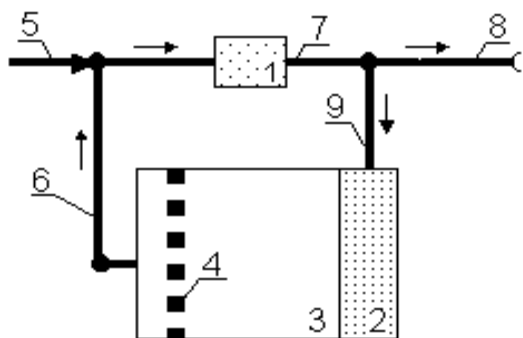


Рис. 4.4. Принципиальная схема узла «НС – регулирующая емкость»: 1 – НС; 2 – галерея задвижек; 3 – регулирующая емкость; 4 – газопоглотители; 5 – подающий коллектор; 6 – самотечная линия опорожнения; 7 – напорный коллектор; 9 – напорная линия наполнения резервуара; 8 – отводящий коллектор

На рис. 4.4 приводится принципиальная схема регулирующего узла с использованием аварийно-регулирующего резервуара (АРР) по патенту РФ № 1808048.

Сточные воды, поступающие по коллектору в насосную станцию 1, подаются в напорный коллектор 7. Если подача насосов превышает постоянный расход, отвечающий пропускной способности коллектора 8, то избыток воды подается в АРР по системе труб с регулирующими задвижками, расположенными в галерее 2. В часы, когда по 5 поступает расход меньше пропускной способности коллектора 8, из АРР по линии 6 самотеком поступает дополнительный расход воды; суммарный расход, равный пропускной способности коллектора 8, подается насосами; линия 9 отключается. Таким образом, коллектор 8 круглосуточно работает при постоянном расходе сточной воды.

По рекомендации [9] регулирующий объем для рассмотренной схемы определяется по формуле

$$W_{\text{пер}} = 1,35 q_{\text{mid}} f(K_{\text{час}}), \quad (4.1)$$

где  $q_{\text{mid}}$  – среднечасовой за год расход сточной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $K_{\text{час}}$  – коэффициент часовой неравномерности, максимальный;  $f(K_{\text{час}})$  – функция коэффициента часовой неравномерности (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения функции коэффициента часовой неравномерности

$K_{\text{час}}$	1,10	1,15	1,20	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,50
$f(K_{\text{час}})$	0,5	0,8	1,2	1,5	1,8	2,2	2,51	3,0	3,52

Применение регулирующих резервуаров обычно выгоднее, чем строительство дополнительных разгружающих коллекторов. Особенно это справедливо для городов со сложным подземным хозяйством, с высокой плотностью насыщения подземного пространства коммуникациями разного назначения и с напряженным движением транспорта. Как указывается в [9], для Москвы решение проблемы перегрузки сетей водоотведения с регулированием расходов в 25–50 раз дешевле, чем при строительстве сетей-дублеров.

Сложность эксплуатации регулирующих резервуаров заключается в необходимости предотвращения осаждения в них взвешенных веществ. С этой целью резервуары оборудуются перемешивающими устройствами разного типа: с барботажем воздуха, мешалками, системой рециркуляции воды при помощи насосов и другими. АРР по схеме на рис. 4.4. оборудуется эжекционными устройствами, устанавливаемыми на подающих трубах внутри резервуара. При истечении воды через насадки образуются затопленные струи, подсасывающие воду и обеспечивающие ее перемешивание.

Предотвратить осаждение примесей с большой гидравлической крупностью практически невозможно, и резервуары нуждаются в систематической очистке. Осадки, а также органика сточных вод подвергаются биохимическому разложению, и в резервуаре выделяются газы, многие из которых токсичны, взрыво- и пожароопасны, обладают резким запахом (сероводород, аммиак и др.). Поэтому резервуары должны оборудоваться надежной и безопасной системой вентиляции. Для АРР предусмотрена установка фильтров-газопоглотителей (см. рис. 4.4). Можно констатировать, что применение резервуаров-регуляторов усложняет эксплуатацию СОВ.

В случае прокладки коллекторов-дублеров трассировка производится так, чтобы направить в них часть стоков, поступавших на перегруженные участки. При сложном рельефе местности и в других случаях, когда прокладка дублирующих самотечных линий затруднена, предусматриваются КНС и напорные разгрузочные водоводы.

Гидравлические расчеты, связанные с реконструкцией СОВ, выполняются по обычным методикам, а оценка конкурентоспособности возможных вариантов производится путем технико-экономического сравнения.

#### **4.3. Реконструкция системы отведения воды при постоянной гидравлической перегрузке**

В случае постоянной гидравлической перегрузки СОВ большинство трубопроводов имеет недостаточную пропускную способность, часть суток работает с подпором или с недопустимо большой степенью заполнения самотечных линий, а КНС не обеспечивают откачки воды, что приводит к ее систематическим аварийным сбросам.

Основными способами реконструкции сетей являются прокладка дополнительных разгрузочных трубопроводов и регулирование водоотведения.

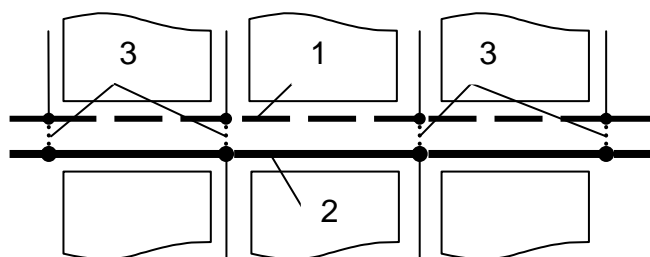


Рис. 4.5. Схема разгрузки коллектора: 1 – существующий коллектор; 2 – разгрузочный коллектор; 3 – ликвидируемый участок

Сети малых диаметров (внутриквартальные, уличные) при реконструкции обычно перекладываются, а крупные коллекторы разгружаются путем строительства дополнительных линий-дублеров. Если существующий коллектор перегружен практически по всей длине, то часть абонентов присоединяется к коллектору-дублеру (рис. 4.5). При пере-

грузке низовых участков коллектора, разгрузочная линия перехватывает стоки верховых участков. Транзитный участок такой разгрузочной линии в зависимости от конкретных условий выполняется самотечным или напорным. Напорный трубопровод оказывается меньшего диаметра, предоставляет большую возможность для выбора трассы, удобен по условиям производства строительных работ. С другой стороны, увеличиваются эксплуатационные расходы, так как возникает необходимость строительства и эксплуатации дополнительной КНС (рис. 4.6).

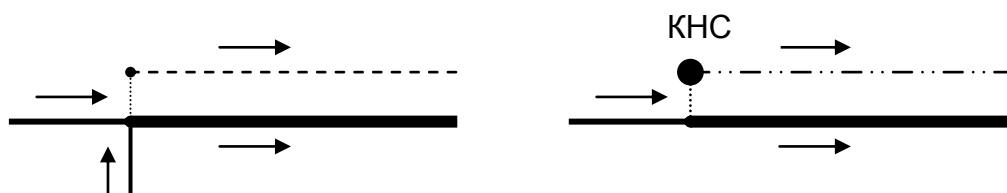


Рис. 4.6. Схема разгрузки коллектора: — участок коллектора с нормальной загрузкой; — — то же с перегрузкой; — — самотечная транзитная линия; — . . то же напорная

В городах, подземное пространство которых насыщено коммуникациями и прокладка новых подземных трубопроводов сопряжена с большими трудностями, применимы разгрузочные каналы большого заглубления, сооружаемые методом щитовой проходки. Для приема сточных вод в канал глубокого заложения предусматриваются шахты, расположенные по его оси либо рядом с ним, причем шахта соединяется с каналом штольней. Шахта оборудуется приемной воронкой и вертикальным стояком, через которые поступают сточные воды из разгружаемых коллекторов. Для гашения избыточной энергии потока под стояком размещается водобойный колодец, из которого и происходит сводный излив в канал [38]. Схема такой шахты приведена на рис. 4.7, а. При направле-



нии в коллектор глубокого заложения небольших расходов воды, дорогостоящие шахты заменяются скважинами, но это решение вызывает сомнение, так как отсутствие водобойного колодца может привести к ускоренному разрушению канала (рис. 4.7, б). Канал (коллектор) глубокого заложения способен принимать сточные воды и разгружать главные коллекторы нескольких бассейнов стока, так как его высотное положение почти не зависит от рельефа местности.

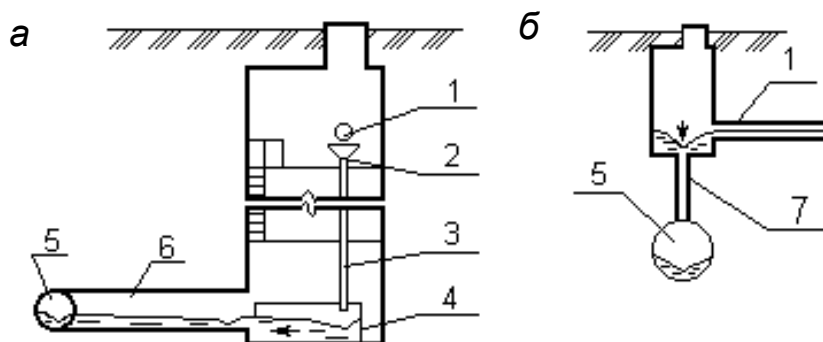


Рис. 4.7. Схемы присоединения сетей к коллекторам глубокого заложения: 1 – от коллектора малого заложения; 2 – воронка; 3 – стояк; 4 – водобойный колодец; 5 – коллектор глубокого заложения; 6 – штольня; 7 – стояк (буровая скважина)

Каналы глубокого заложения – дорогостоящие и сложные в эксплуатации инженерные объекты, и их применение требует серьезных обоснований.

Большой опыт строительства и эксплуатации таких каналов накоплен в Петербурге. Свыше 45 км каналов щитовой проходки щитами диаметрами 2.1, 2.56 и 3.2 м эксплуатируется в гг. Омске и Новосибирске.

Альтернативу строительства разгрузочных коллекторов представляют регулировочные узлы с АРР, размещаемые перед перегруженными главными коллекторами и крупными КНС, а также перед очистными сооружениями.

#### 4.4. Реконструкция канализационной насосной станции

Согласно СНиП 2.04.03.–85 [10] подача КНС при параллельной работе всех рабочих насосов должна быть не менее максимального часового расхода сточных вод, а вместимость приемного резервуара – не менее пятиминутной производительности рабочего насоса.

Вместимость резервуара проверяется по количеству включений насосов в течение часа при среднем притоке. Станции с ручным управлением или оборудованные автоматизированными насосными агрегатами с мощ-

ностью двигателей 50 кВт и более должны включаться не чаще 3 раз в час, а с меньшей мощностью при автоматизированном управлении – не чаще 5. Если проверка покажет, что частота включений должна быть больше, вместимость приемного резервуара увеличивается.

На рис. 4.8 приведены графики притока и откачки сточных вод до и после реконструкции. Вместимость приемного резервуара насосной станции по проекту  $W_p$ . Из графика следует, что частота включения насоса в проектных условиях составила несколько больше двух. После

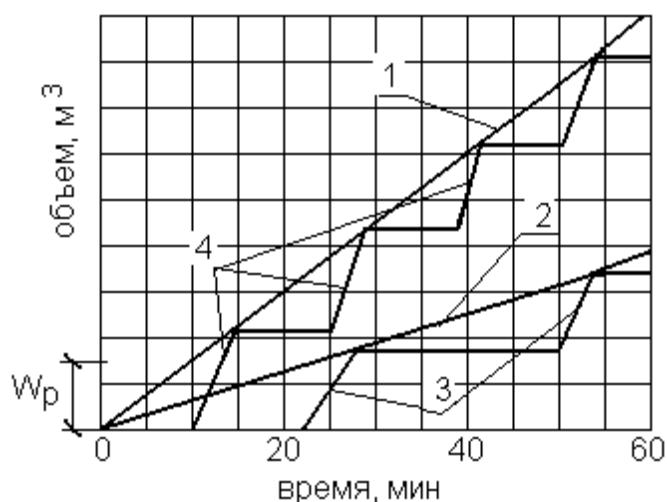


Рис. 4.8. График притока и откачки сточных вод: 1 – проектный приток; 2 – фактический приток; 3 – подача насосов проектная; 4 – то же после реконструкции

замены насосов при реконструкции количество включений составило около четырех. Если это представляется недопустимым, то следует принять другие насосы, либо вместимость приемного резервуара должна быть увеличена путем строительства дополнительного резервуара, сообщающегося с существующим.

Повышение производительности КНС, как и любой другой насосной станции, достигается увеличением количества оборотов насосных агрегатов, заменой рабочих колес

насосов, заменой насосов или увеличением их количества. Первые два способа не всегда осуществимы, а увеличение количества насосов ограничено габаритами машинного зала. В этом случае возможно строительство дополнительной насосной станции, работающей параллельно с существующей. Целесообразно применение комплектных насосных станций, оборудованных погружными насосами.

В табл. 4.2 приведены характеристики серии КНС, оборудованных погружными насосами марки СР фирмы “Флюгт” (Швеция).

Таблица 4.2

#### Рабочий ряд канализационных станций

Марка насоса	Производительность $Q$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор $H$ , м	Мощность $N$ , кВт	Диаметр напорного патрубка $D_y$ , мм
Насосная станция $\varnothing 1500$ мм				
СР 3067 НТ	7,2–28,8	15–8	1,6	65
СР 3085 МТ	18,0–43,2	10–8	2,7	80–100
СР 3085 НТ	14,4–32,4	17–8	3,2	80

Марка насоса	Производительность Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор Н, м	Мощность N, кВт	Диаметр напорного патрубка D <sub>y</sub> , мм
Насосная станция Ø 2000 мм				
CP 3102 LT	28,8–61,2	9–8	3,8	100–150
CP 3102 MT	36,0–104,4	12–8	3,8	80–100
CP 3102 HT	25,2–97,2	22–8	5,6	80
CP 3127 MT	36,0–172,8	16–8	7,1	100–150
CP 3127HT	36,0–144,0	22–8	7,1	100
CP 3127 SN	21,6–79,2	40–8	8,9	80
Насосная станция Ø 2500 мм				
CP 3127 LT	72,0–154,8	11–8	5,7–7,1	200
CP 3140 LT	72,0–144,0	8,5–8	10,7	250
CP 3140 MT	90,0–234,0	16–8	11,2	150
CP 3152 LT	72,0–108,0	8,5–8	10,2	250
CP 3152 MT	72,0–331,2	22–8	11,2–15,8	150–200
CP 3152 HT	36,0–201,6	30–10	11,2–15,8	100–150
CP 3152 ST	18,0–72,0	55–20	17,2	150
Насосная станция Ø 3000 мм				
CP 3152 LT	72,0–108,0	8,5–8	10,7	250
CP 3170 LT	144,0– 540,0	13–8	17,9	250–300
CP 3170 MT	72,0–324,0	30–10	26,0	150–200
CP 3170 HT	36,0–270,0	45–10	26,0	100–150
CP 3201 MT	144,0– 648,0	20–8	26,0	250
CP 3201 HT	72,0–360,0	45–10	35	150–200
CP 3201 ST	43,2–144,0	65–30	34	100

Подземная часть насосной станции имеет диаметр до 3 м, глубину 7–10 м и выполняется из стали. В нижней части подземной части снаружи располагается пригрузочная “юбка”, а изнутри – пол из монолитного бетона, на котором закрепляется основание насосов.

Внутри подземной части расположены также направляющие для опускания и подъема насосов, напорные трубопроводы, подъемный решетчатый контейнер для отбросов, площадки и лестницы.

Надземная часть имеет высоту около 6 м, причем она делится перекрытием на высоте 4 м на две части. Нижняя, оснащенная грузоподъемным устройством, используется для обслуживания насосов, а в верхней – размещаются вытяжные и приточные вентиляционные установки. Электрооборудование размещается в пристройке.

Сроки строительства КНС – 3–4 месяца.

Комплектные станции заводского изготовления, например фирмы «Сарлин», особенно удобны для монтажа. В цилиндрическом корпусе из пластмассы, армированной стекловолокном, установлены погружные насосы, трубопроводы, вспомогательное оборудование. На крышке резервуара расположены щит управления и блок автоматики. Корпус уста-

навливается на бетонное основание и крепится при помощи анкерных болтов. Работа насосов автоматизирована [13].

Погружные насосы могут размещаться как внутри резервуара (мокрая установка), так и в сухой камере.

На рис. 4.9 приведены области применения насосов погружного типа фирмы «Сарлин», на рис. 4.10 – рабочая характеристика одного из насосов этой конструкции.

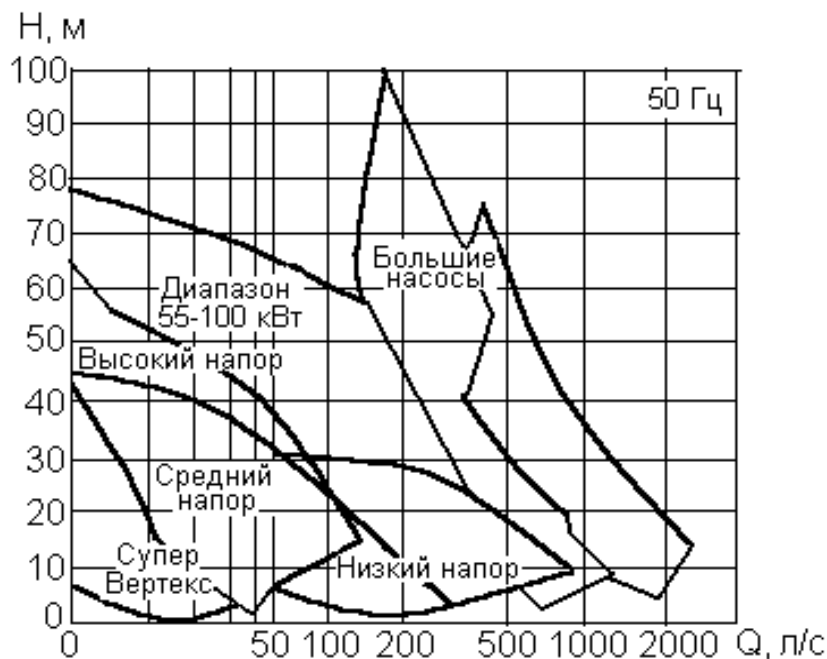


Рис. 4.9. Область применения насосов «Сарлин»

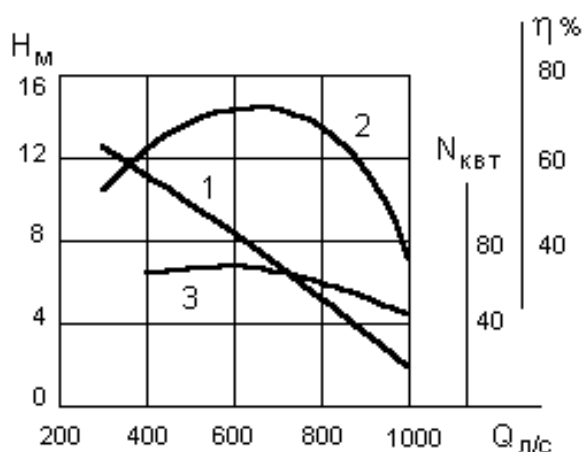


Рис. 4.10. Рабочая характеристика насоса S3 658T E3 («Сарлин»): 1 – H-Q; 2 –  $\eta$ -Q; 3 – N-Q

Заметим, что насосы фирмы «Сарлин» не нуждаются в установке решеток, а допустимое количество их включений в течение часа достигает 15.

Погружные насосы применимы и в случае замены существующих насосов. На рис. 4.11 приведена схема реконструкции КНС системы водоотведения г. Петербурга. В существующей станции демонтировали оборудование, включая решетки, и разместили в машинном зале комплектную станцию с

двумя насосами. Станцию смонтировали через проем в крыше существующей КНС, пространство между стеной машинного зала и корпусом

комплектной станции заполнили грунтом до нулевой отметки, верхняя часть корпуса была поднята на 25 см над полом в помещении КНС. Продолжительность монтажных работ при реконструкции заняла всего две недели [14].

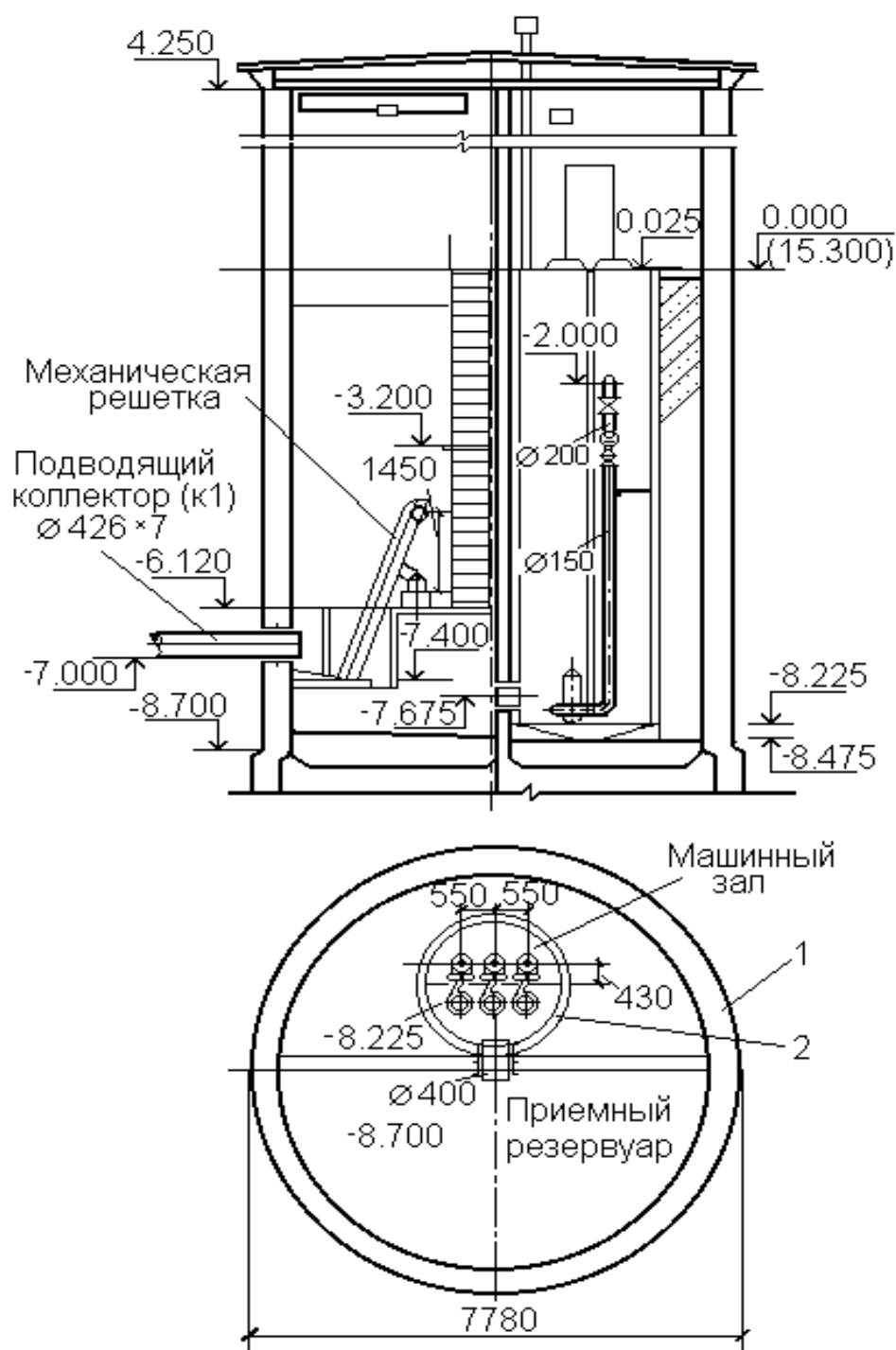


Рис. 4.11. Реконструкция КНС на основе комплектной насосной станции «Сарлин»: 1 – существующие здания КНС; 2 – комплексная насосная станция

При реконструкции Центральной канализационной станции г. Кемерово, оборудованной пятью агрегатами СДВ 2700/22,5 расчетной производительностью около 8 тыс. м<sup>3</sup>/ч в приемном резервуаре дополнительно установили два погружных насоса фирмы “Флигт”, что позволило увеличить подачу станции на 2,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч [15].

Фирма «Кратна» (Нижний Новгород) выпускает Погружные насосы производительностью от 5 до 1200 м<sup>3</sup>/ч с напором до 5 м.

Применение погружных насосов обладает большими преимуществами в отношении компактности и простоты обслуживания, и это один из основных путей реконструкции КНС.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислить причины ухудшения работы СОВ.
2. Как осуществляется снижение нагрузки на канализационный коллектор?
3. Какие сложности возникают при эксплуатации регулирующих резервуаров?
4. Какие технические решения применяются на канализационных сетях с постоянной гидравлической нагрузкой?
5. Каковы пути реконструкции канализационных насосных станций?
6. В чем достоинство компактных станций «Сарлин»?
7. Какие преимущества дает применение вертикальных насосов КНС?

## **5. РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

### **5.1. Общие положения**

В настоящем пособии рассмотрены пути реконструкции станций очистки (водопроводных станций), предназначенных для обработки воды из поверхностных источников второй категории загрязненности. Вода таких источников нуждается в осветлении, обесцвечивании и дезинфекции. В большинстве случаев технология водоподготовки включает две ступени очистки (отстойники или осветлители и фильтры) с последующим обеззараживанием. В технологическом процессе используют коагулянты, флокулянты, известь или соду, хлор; обеззараживание предусматривает хлорирование, реже – озонирование или бактерицидное облучение.

Нормы, по которым проектировались водопроводные станции России в пятидесятые – девяностые годы, изменены [44]. Основные изменения касаются ужесточения требований к качеству питьевой воды по эпидемиологическим и паразитологическим показателям.

Повсеместное ухудшение качества воды поверхностных источников водоснабжения, вызванное антропогенными и техногенными причинами, настоятельно требует повышения барьерной роли водопроводных станций. Под барьерностью понимается способность очистных сооружений задерживать загрязнения, содержащиеся в исходной воде.

Известно, что двухступенчатая очистка позволяет задержать грубодисперсные примеси и дестабилизированные коллоиды, в частности, обуславливающие цветность воды.

Глубокая очистка от цист простейших достигается только в хорошо осветленной воде, мутность которой не должна превышать 0,5 мг/л. Обычно после осветления мутность достигает 1,5 мг/л, что и соответствует стандарту качества, но недостаточно для обезвреживания неблагополучной в санитарно-гигиеническом отношении воды.

Технология очистки не исключает появления в воде некоторых вторичных загрязнений. Так, после применения алюминиевых коагулянтов в щелочной воде с РН более 7,5 появляются анионы алюминия  $\text{AlO}_2^-$ ; при хлорировании высокоцветной или содержащей другие органические соединения воды образуются токсичные хлорорганические соединения (четырёххлористый углерод, хлороформ и др.), при озонировании – токсичные озонаты (альдегиды, фенолы, хинон, броматы). Хлорорганические соединения и озонаты находятся в молекулярном состоянии.

Во многих поверхностных источниках, и в том числе таких крупных, как Волга, Енисей, Лена, Амур, Обь, в последние годы регистрируются молекулярно растворенные загрязняющие примеси (углеводороды нефти, СПАВ, фенолы) в концентрациях, превышающих ПДК. К молекулярно растворенным относятся и такие опасные вещества, как полиароматические соединения – диоксины. Поверхностные воды нередко содержат в недопустимо высоких концентрациях ионы тяжелых металлов.

Двухступенчатая очистка воды не рассчитана на задержание молекулярных и ионных примесей. Для повышения барьерной роли станции необходимы изменения в технологии очистки.

Второй характерной причиной реконструкции является превышение проектной производительности станций. Наконец, возможны ситуации, когда одновременно присутствуют обе причины реконструкции: повышение барьерной роли и увеличение производительности.

## 5.2. Реконструкция для повышения барьерной роли станции

### 5.2.1. Изменение технологии очистки

При реконструкции должна быть решена задача по очистке воды от загрязнений, которые не удаляются в процессе коагуляции, отстаивания и контактной коагуляции, а также не разрушаются при прехлорировании. Методы очистки от указанных специфических загрязнений подразделяются на регенеративные и деструктивные. К первым следует отнести сорбцию и ионный обмен, ко вторым – химическую и биохимическую деструкцию. Другие методы (например, гиперфильтрация, электродиализ и т.д.) в условиях обработки больших объемов воды экономически нецелесообразны.

Операции по повышению барьерной роли проводятся одновременно с основными, принятыми на существующей станции процессами улучшения качества воды или при дополнительной доочистке.

На рис. 5.1 приведена технологическая схема одной из водопроводных станций г. Москвы, рассчитанной на задержание нефтепродуктов, фенолов, хлорфенолов, полиароматических углеводородов, пестицидов, а также на глубокое обеззараживание воды.

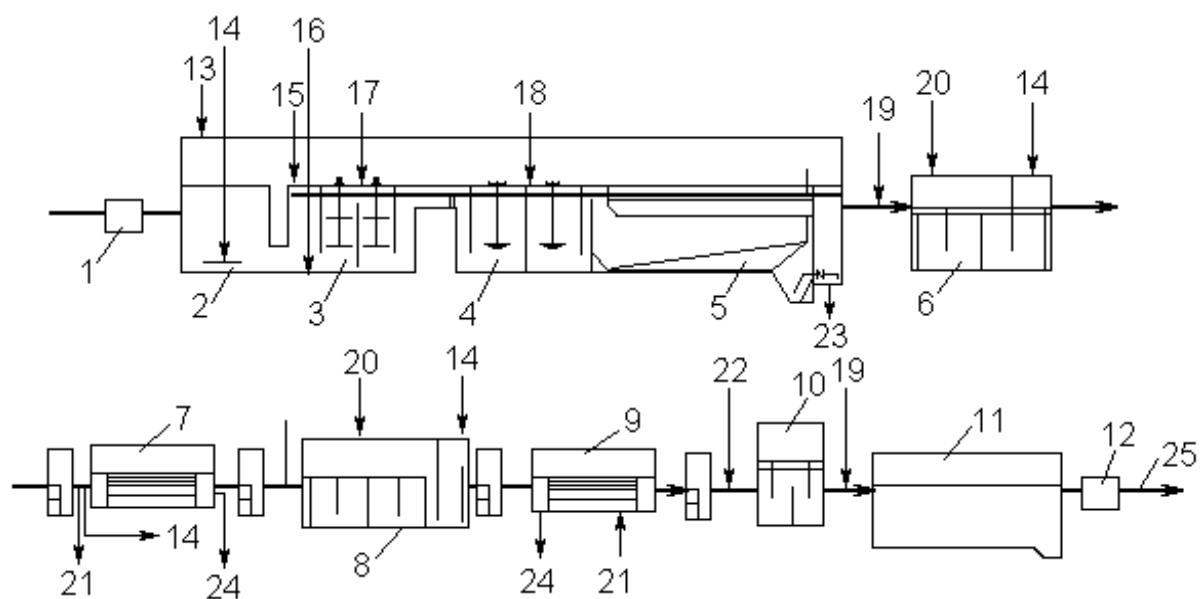


Рис. 5.1. Технологическая схема водопроводной станции: 1 – насосная станция первого подъема; 2 – контактный бассейн; 3 – быстросмеситель; 4 – флоккулятор; 5 – тонкослойный отстойник; 6 – контактный резервуар первичного озонирования; 7 – песчаный фильтр; 8 – контактный резервуар вторичного озонирования; 9 – угольный фильтр; 10 – распределительная камера; 11 – резервуар чистой воды; 12 – насосная станция второго подъема; 13 – перманганат калия; 14 – воздух; 15 – коагулянт; 16 – хлор; 17 – уголь ПАУ; 18 – флоккулянт; 19 – известь; 20 – озон; 21 – промывная вода; 22 – аммиак, хлор; 23 – осадок на обезвоживание; 24 – в водосток; 25 – в город



В технологическом процессе предусмотрено двухступенчатое хлорирование, озонирование и двухступенчатая сорбция с использованием порошка и гранул активированного угля. В качестве дополнительных окислителей используется перманганат калия.

Процесс очистки максимально интенсифицируется за счет применения наиболее эффективных реагентов (оксихлорид алюминия, флокулянты, озон в сочетании с ультрафиолетовым облучением и др.).

Для выбора технических решений, в наибольшей степени отвечающих конкретным местным условиям, необходимы достаточно длительные натурные исследования с использованием полупроизводственных установок. Например, при обосновании схем реконструкции водопроводных станций Москвы французская фирма «Дагремон» на протяжении года (1997–1998) производила испытания пилотной установки производительностью 15 м<sup>3</sup>/ч [36].

### **5.2.2. Очистка адсорбцией**

При адсорбции молекул на поверхности адсорбента происходит снижение их свободной энергии. Чем больше снижение, тем больше энергия адсорбции, тем устойчивее и интенсивнее протекает процесс. Считается, что сорбция применима, если энергия снижается не менее чем на 16–18 кДж/моль.

Среди хорошо сорбирующихся веществ – фенолы и другие производные бензола, производные нафталина; несколько хуже сорбируются хлороформ и дихлорэтан, а также алифатические амины. Ионы сорбируются плохо, так как они гидратированы, и гидратная оболочка препятствует необходимому сближению частицы с поверхностью сорбента. Поскольку некоторые вещества способны диссоциироваться и в зависимости от pH воды переходить из молекулярной в ионную форму и наоборот, водородный показатель в процессе сорбции корректируется.

При выборе адсорбентов следует учитывать, что поверхности тех из них, которые являются гидрофильными, покрыты молекулами воды, что затрудняет контакт с частицами загрязнений (селикогель, алюмогели, глины, алюмосиликаты). Только те молекулы, которые обладают очень большой энергией адсорбции, способны вытеснять молекулы воды с поверхностей гидрофильных сорбентов и сорбироваться на них (высокомолекулярные соединения, СПАВ с длинными углеводородными радикалами, некоторые красители). В других случаях следует использовать гидрофобные сорбенты, к которым относятся активированные угли, а также углеродно-волоконистые материалы (УВМ). Для очистки воды применяются порошкообразные (ПАУ) и гранулированные (ГАУ) активированные угли. Характеристики некоторых отечественных ГАУ и ПАУ приводятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

## Характеристики активированных углей для очистки воды

Вид	Марка	Насыпная плотность, г/дц <sup>3</sup>	Размер фракций, мм
ПАУ	ОУ–Л	227–271	менее 0,1
	УАФ	275–337	менее 0,1
ГАУ	АГ–3	279 –341	1,0–2,5
	ЛГ	252–308	1,0–2,5
	АГ–5	252–309	0,5–1,5

Процесс сорбции продолжается до достижения равновесного состояния, когда степень насыщения сорбента молекулами загрязнителя соответствует их содержанию в воде. График, связывающий значения равновесных концентраций сорбируемого вещества в воде и в сорбенте при постоянной температуре, называется изотермой сорбции.

В ряде случаев уравнение изотермы сорбции описывается формулой И. Ленгмюра:

$$a = a_{\infty} \frac{c \cdot b}{1 + cb}, \quad (5.1)$$

где  $a$  – содержание загрязнения в сорбенте;  $c$  – содержание загрязнения в воде;  $b, a_{\infty}$  – постоянные, зависящие от вида загрязнения, вида сорбента и температуры воды.

В тех случаях, когда экспериментально установлена непригодность формулы Ленгмюра, пользуются эмпирическим уравнением Фрейндлиха:

$$a = \alpha \cdot c^n, \quad (5.2)$$

где  $n, \alpha$  – константы.

Из уравнений (5.1) и (5.2) следует, что чем больше концентрация загрязнений в воде, тем больше и равновесное содержание загрязнений в сорбенте и наоборот. Поскольку ПДК загрязнений в воде питьевого качества незначительны, например, фенола всего 0,001 мг/л, насыщенность сорбентов после использования также будет мала. Регенерация сорбента может производиться деструктивным методом (химическое окисление с использованием сильных окислителей) либо переводом сорбированных загрязнений в диссоциированное состояние.

Если очистка сорбцией производится эпизодически в течение ограниченного периода времени, целесообразно применять активированный уголь в виде порошка. Угольная суспензия с концентрацией 5–10 % подается в поток воды обычно до введения коагулянта. Уголь вместе со взвешенными веществами задерживается в отстойниках и фильтрах.

При концентрации ПАУ менее 5–10 мг/л суспензию следует вводить после первой ступени очистки, т.е. перед фильтрами.

Реконструкция предусматривает создание участка для приготовления угольной суспензии, установку дополнительного дозатора суспензии, смесителя и промежуточной камеры реакции, рассчитанной на требуемую продолжительность контакта угля с молекулярными водными загрязнениями. Суспензию готовят в герметизированных мешалках, куда ПАУ загружают в таре (бумажные мешки). Перед использованием порошковое пространство частиц угля следует заполнить водой, для чего он должен замачиваться не менее 1 часа, но не свыше 4 часов во избежание снижения сорбционной способности.

Крупные молекулы высокомолекулярных веществ (например гуминовых) задерживаются в супермикропорах и мезопорах и продолжительность контакта, необходимого для достижения равновесного состояния, оказывается большей, чем для низкомолекулярных (аммонийный или нитритный азот). Это объясняется тем, что крупные молекулы задерживаются преимущественно в микропорах, где велико напряжение энергии абсорбции и где взаимодействуют абсорбционные потенциалы противоположных стенок [48].

Продолжительность контакта сорбента с водой чаще всего составляет 10–15 минут. Значения должны быть проверены экспериментально, так как зависят от качества воды, сорбционного материала и условий перемешивания. Неправильно назначенная продолжительность контакта приводит к грубым ошибкам. Так, в проекте реконструкции водопроводной станции г. Томска продолжительность контакта была принята равной всего 15 секундам, т.е. занижена в несколько десятков раз. В результате узел углевания оказался неработоспособным [16].

На рис. 5.2 представлена схема реконструкции водопроводной станции с применением порошкообразного активированного угля. Угольная пульпа, приготовленная в баке 2, насосом – дозатором 3 подается в смеситель 4 и смешивается с сырой водой. Смесь по обводной линии поступает в камеру реакции, где перемешивается в течение расчетной продолжительности времени, после чего поступает в существующую технологическую линию 7–8–9–11 в точке А или перед фильтрами в точке Б. Если технологией очистки предусмотрено прехлорирование, то хлорная вода может вводиться вместе с угольной пульпой в смеситель 4.

Как известно, на поверхности активированного угля происходит концентрация веществ, участвующих в химической реакции, и окисление хлорированием интенсифицируется. В периоды, когда качество воды в источнике не требует сорбционной обработки, блок углевания отключается.

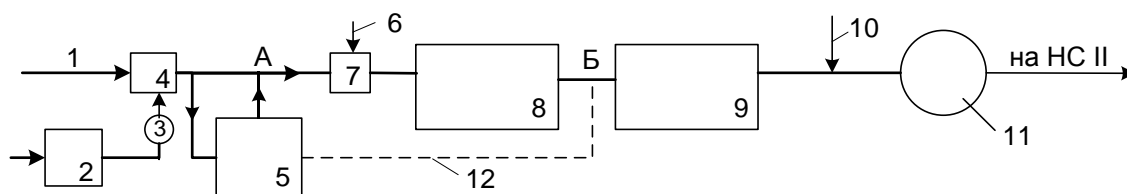


Рис. 5.2. Технологическая схема очистки с углеванием: 1 – подача сырой воды; 2 – установка для замачивания ПАУ и приготовления угольной пульпы; 3 – насос-дозатор; 4 – смеситель; 5 – камера реакции; 6 – ввод реагентов; 7 – смеситель; 8 – отстойник или осветлитель со взвешенным осадком; 9 – фильтр; 10 – ввод хлорной воды; 11 – РЧВ; 12 – возврат воды

Рассмотренный метод сорбции называется статическим. Основной расчетной величиной при проектировании узла углевания является доза сорбента, мг/л,

$$D = \frac{C_{\text{en}} - C_{\text{ex}}}{a}, \quad (5.3)$$

где  $C_{\text{en}}$ ,  $C_{\text{ex}}$  – концентрация загрязнений в воде до и после очистки, мг/л;  $a$  – равновесная (по отношению к  $C_{\text{ex}}$ ) концентрация загрязнений в сорбенте, мг/л, значение которой определяется по формуле (5.1) или (5.2).

**Пример 5.1.** Определить дозу активного угля УАФ – 3 для удаления из речной воды фенолов. Исходная концентрация фенола  $C_{\text{en}} = 0,006$  мг/л; конечная (после очистки)  $C_{\text{ex}} = 0,001$  мг/л.

Определение равновесной концентрации производится по формуле (5.2);  $a = 31,6$ ;  $n = 0,3$ .

Решение.

$$1. \ a = 31,6 \cdot 0,001^{0,3} = 3,98 \text{ мг/л.}$$

$$2. \ D = \frac{0,006 - 0,001}{3,98} = 0,0013 \text{ г/л или } 1,3 \text{ мг/л.}$$

Поскольку в обрабатываемой воде обычно присутствуют конкурирующие молекулярно растворенные примеси, доза ПАУ должна уточняться экспериментально, и часто она значительно превышает расчетную.

Заметим, что дозы ПАУ при устранении СПАВ, привкусов и запахов воды достигают нескольких десятков мг/л.

Определение вместимости баков для приготовления суспензии ПАУ и камер реакции выполняется по обычным методикам.

**Пример 5.2.** Определить размеры камер реакции и баков для приготовления суспензии, если доза ПАУ составляет  $D = 50$  мг/л, а расчетная производительность водопроводной станции равна  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Решение.

1. Определяем рабочую вместимость установки для приготовления суспензии (принимаем: концентрация ПАУ  $P = 6 \%$ ; количество затворений в сутки  $n = 6$ ):

$$W = 0,0024 \frac{D \cdot Q}{P \cdot n} = 0,0024 \frac{50 \cdot 1000}{6 \cdot 6} = 3,3 \text{ м}^3.$$

2. Определяем вместимость баков – камеры реакции. Количество баков  $m = 2$  (продолжительность контакта ПАУ с водой принимается  $t = 15$  минут, или  $0,25$  ч):

$$W = \frac{Q \cdot t}{m} = \frac{1000 \cdot 0,25}{2} = 125 \text{ м}^3.$$

Баки оборудуются системой барботаж воздуха, препятствующей выпадению осадков. Перед поступлением воды в смесители и отстойники предусматривается отделение воздуха.

Большие объемы баков создают трудности при их размещении на станции. Обычно блоки углевания размещают в пристройке к существующему зданию или в отдельно стоящем здании.

Если сорбционная очистка требуется постоянно или большую часть года, воду фильтруют через слой гранулированного сорбента крупностью  $1,5\text{--}3,00$  мм (динамическая сорбция).

Равновесная концентрация загрязнений в сорбенте при динамической сорбции на  $15\text{--}20 \%$  ниже, чем при статической. Соответствующие показатели определяются опытным путем, а ориентировочно могут подсчитываться по формулам (5.1) или (5.2) с введением понижающего коэффициента.

Сорбционные фильтры устанавливают после существующих фильтров и перед вводом хлора. Возможен двухступенчатый ввод хлора: для обеззараживания – перед сорбционными фильтрами и с дозой, необходимой для профилактического хлорирования и поддержания необходимой концентрации в сетевой воде, – после них.

В том случае, когда сорбционная емкость загрузки достаточна для использования в течение нескольких месяцев, ее регенерация нецелесообразна, и она после использования ликвидируется.

Фильтры оборудуются дренажами и эпизодически промываются с интенсивностью  $3\text{--}4$  л/см<sup>2</sup>. Промывка необходима для удаления грубодисперсных примесей, остающихся в фильтрованной воде.

Сорбционные фильтры применяются как в безнапорном, так и в напорном исполнении. Толщина слоя загрузки зависит от скорости фильтрации, с которой связана зависимостью

$$H = V t, \quad (5.3.1)$$

где  $H$  и  $V$  – толщина слоя, м, и скорость фильтрации, м/ч;  $t$  – продолжительность контакта сорбента с загрязненной водой, ч.

Продолжительность контакта зависит от многих конкретных условий (качество воды, сорбента, крупность загрузки и др.) и должна определяться экспериментально. Чаще всего продолжительность контакта составляет 0,33–0,25 ч, т.е. 15–20 минут.

Скорость фильтрации сама по себе мало влияет на эффективность процесса и принимается от 5–6 до 25–30 м/ч. Потери напора при фильтрации зависят от средней крупности фракций сорбента и от скорости  $V$  (рис. 5.3).

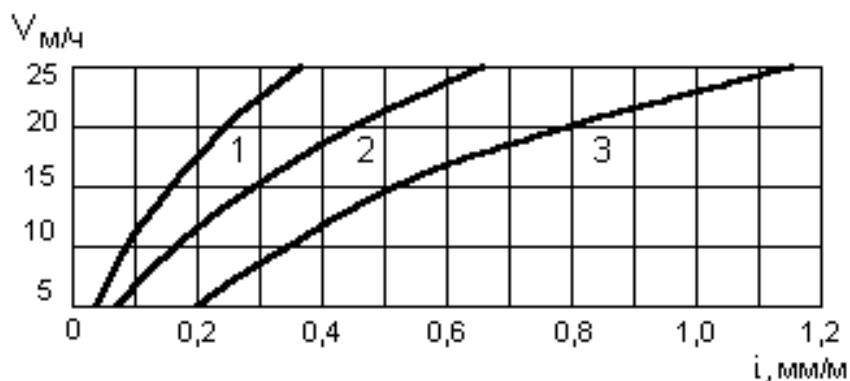


Рис. 5.3. Гидравлический уклон при фильтрации через слой гранул активированного угля при скорости фильтрации  $V$ : 1 – средний диаметр зерен 2 мм; 2 – то же 1,5 мм; 3 – то же 1,0 мм

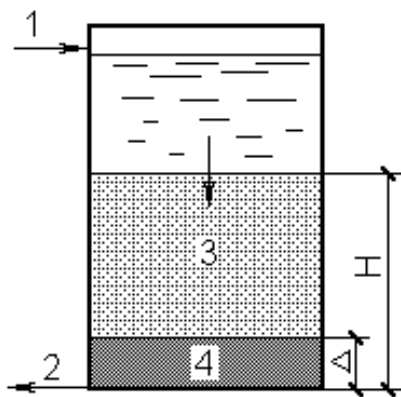


Рис. 5.4. Схема использования сорбционного фильтра: 1 – подача воды; 2 – отведение воды; 3 – отработанный слой; 4 – защитный слой

По мере истощения сорбционной емкости загрузки толщина отработанного слоя возрастает. Сорбционная емкость считается использованной, если защитный слой достигает значения  $\Delta$  и его дальнейшее уменьшение приводит к ухудшению качества воды (рис. 5.4).

Загрузка сорбционных фильтров заменяется не реже чем после двух лет эксплуатации. Сорбционные фильтры имеют безгравийные дренажи большого сопротивления (колпачковые, щелевые, из пористых труб) и конструкции, аналогичные конструкциям обычных скорых фильтров.

Для загрузки и выгрузки угля применяется гидротранспортная система: гидроэлеватор и трубы (резиновые или стальные) с поворотами радиусом 5–10 диаметров труб. На трубах арматура не устанавливается [46]. Скорость пульпы принимается от 1 до 1,5 м/с.

Фильтры периодически промываются, что устраняет их заиливание и уплотнение угля. Режим промывки (частота, интенсивность, степень расширения угля, длительность) уточняется экспериментально. Согласно ПТЭ [47] после каждой промывки в течение 10 минут сбрасывается первый фильтрат.

Годовые потери угля из-за промывок составляют 10 %.

Расчет сорбционных фильтров иллюстрируется следующим примером.

**Пример 5.3.** Определить основные габариты и количество сорбционных фильтров для следующих условий: производительность  $Q = 1000$  м<sup>3</sup>/ч; содержание растворенных нефтепродуктов начальное  $C_{en} = 0,3$  мг/л; конечное  $C_{ex} = 0,1$  мг/л; равновесная концентрация в сорбенте при  $C_{ex}$   $a = 100$  мг/г, или 0,10 т/т, загрузка – активированный уголь АГ–3 со средней крупностью фракций 2 мм, с насыпной плотностью  $\gamma_n = 340$  кг/м<sup>3</sup>. Экспериментально установлено, что при скоростях фильтрования менее 10–15 м/ч толщина не полностью отработанного слоя  $\Delta$  составляет 0,4 м. Продолжительность контакта воды с загрузкой  $t = 0,3$  ч.

Решение.

1. Исходя из конкретных условий реконструкции, принимаем 4 фильтра размером в плане 6×6 м; общая площадь фильтрации  $F = 4 \times 6 \times 6 = 144$  м<sup>2</sup>.

2. Скорость фильтрации

$$V = \frac{1000}{144} = 6,9 \text{ м/ч.}$$

3. Толщина обрабатываемого слоя загрузки по формуле (5.3.1):

$$H = 6,9 \times 0,33 = 2,23 \text{ м.}$$

Принято 2,3 м

4. Количество загрязнений, сорбируемых в отработанном слое перед заменой сорбента

$$G = HF\gamma_n a = 2,3 \cdot 144 \cdot 340 \cdot 10^{-3} \cdot 0,033 = 3,75 \text{ т.}$$

5. Продолжительность цикла

$$T_{\text{ц}} = \frac{G}{(C_{en} - C_{ex}) Q} = \frac{3,75 \cdot 10^6}{(0,3 - 0,1) 1000} = 18,75 \cdot 10^3 \text{ ч или 2,1 года.}$$

Замена загрузки производится по мере необходимости, но не реже, чем через 2,1 года.

6. Толщина слоя загрузки (полная)

$$H_{\text{полн}} = H + \Delta = 2,3 + 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

## 7. Потери напора при фильтрации ( $i = 0,05$ м/м, по рис. 5.3)

$$h_e = H_{\text{полн}} i = 2,7 \cdot 0,05 = 0,135.$$

Объем работ при реконструкции весьма значителен. Помимо фильтров необходимо предусмотреть промежуточный резервуар для фильтрованной воды и насосы для ее подачи на сорбционные фильтры (рис. 5.5).

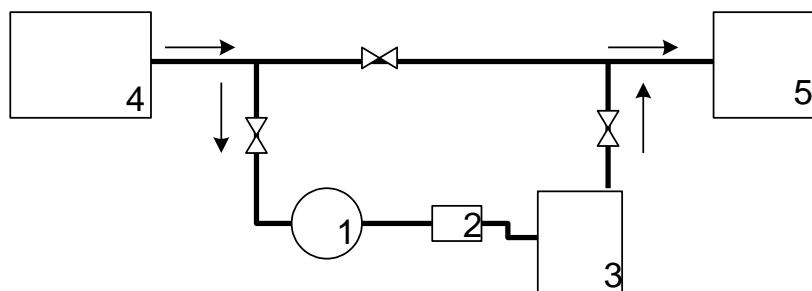


Рис. 5.5. Схема включения сорбционных фильтров: 1 – промежуточный резервуар; 2 – насосные установки; 3 – сорбционные фильтры; 4 – фильтры существующие; 5 – РЧВ

### 5.2.3. Деструктивная очистка

В практике водоснабжения деструкция водных загрязнений производится чаще всего химическим окислением с использованием хлора или озона.

Окисление – многоэтапный процесс, сопровождающийся образованием ряда промежуточных продуктов, часть из которых оказываются водными загрязнениями. Полная деструкция с расчленением вещества на составляющие элементы трудно достижима. Обычно процесс завершается на этапе образования продуктов, не являющихся загрязнениями, так как их концентрация не превышает ПДК.

Поскольку концентрация продуктов окисления зависит от содержания в исходной воде окисляемого вещества, профессор Г.И. Николадзе ввел понятие о критическом содержании последнего [18]. Если концентрация водной примеси (например фосфорорганические пестициды или СПАВ) превышает критическое значение, окисление в чистом виде не достаточно и должно сочетаться с другими методами очистки, например с сорбцией.

Процесс окисления, как правило, нуждается в интенсификации. Это связано, во-первых, с относительно низкими концентрациями загрязнений в исходной воде (в противном случае источник признается непригодным для использования) и, во-вторых, устойчивостью некоторых соединений по отношению к окислению. К ним относятся многие СПАВ, пестициды, красители, часть углеводов, входящих в состав нефти и др.



Интенсификация, обеспечивающая увеличение скорости окисления и более глубокую деструкцию водных примесей, достигается следующим:

- применением повышенных сравнительно со стехиометрическими значениями доз окислителей;
- созданием условий для повышения концентрации реагирующих веществ в реакционной зоне;
- применением катализаторов и активизацией окислителей.

Прохождение химических реакций и в том числе окисления зависит от качества воды, состава примесей, вида применяемого окислителя, температуры, РН и других факторов.

Условия оптимизации во всех случаях определяются экспериментально. Повышение доз окислителя ускоряет процесс, так как возрастает вероятность результативного контакта между реагирующими веществами, но после реакции остается неиспользованный окислитель. Избыток озона мало опасен, так как озон саморазлагается, и его содержание в воде быстро снижается. Избыточный хлор рассматривается как загрязнитель, и его следует удалять дехлорированием.

Сгущение реагирующих веществ и образование областей их повышенной концентрации приводит к тем же результатам, что и увеличение доз окислителя. Технически это достигается заполнением реакционной зоны зернистым, желательно гидрофобным материалом, на поверхности которого накапливаются реагирующие вещества. Наилучшим наполнителем является активированный уголь.

Под влиянием длительного воздействия окислителей, особенно озона, возможно частичное разрушение и ухудшение качества активированного угля, что может потребовать его периодической замены.

Процесс окисления интенсифицируется окислами многовалентных металлов, являющихся катализаторами процесса. Часто применяется пиролюзит, смесь окислов марганца. Используют и другие металлы: никель, медь, железо. С участием катализаторов формируются неустойчивые комплексы, после распада которых перераспределяется энергия химических связей в молекулах окислителя и появляются новые, более реакционно-способные соединения. Например, при РН = 7–8 при контакте с катализаторами активный хлор, находящийся частично в состоянии хлорноватистой кислоты, а частично – в виде гипохлорит-иона, трансформируется с образованием сильнейших окислителей – атомарного кислорода и свободного радикала  $\text{OH}^\bullet$ .

Скорость окисления на порядок и более возрастает, если перевести электроны, входящие в состав атомов окислителей, в возбужденное состояние. Возбуждение достигается, в частности, фотолизом, т.е. облу-

чением воды, обработанной окислителями, ультрафиолетовыми лучами. Например, озон при фотолизе разрушается и переходит в форму свободных радикалов  $\text{OH}^\bullet$ .

Об эффективности применения различных окислителей, применяемых при очистке питьевой воды, можно судить по данным табл. 5.2.

Таблица 5.2

Эффективность применения окислителей [43]

Вид или характеристика загрязнения	Вид окислителя				
	Кислород воздуха	$\text{Cl}_2$	$\text{ClO}_2$	$\text{O}_3$	$\text{KMnO}_4$
Железо	++	++	++	+++	+
Марганец	0	+	++	+++	+++
Цветность	0	+	+	++	0
Запах, привкус	+	+/-	+	+++	0
Аммоний	0	+	0	0	0
Органические вещества	0	+	+	+	0
Восстанавливающие вещества	0	++	++	++	+
Биоокисляемые вещества	0	-	-	++	0
Обеззараживаемые загрязнители	0	++	++	++	0

*Примечание.* 0 – без прямого действия; – негативное воздействие; + слабое воздействие; ++ сильное воздействие; +++ очень сильное воздействие.

Обеззараживающее воздействие дезинфектантов оценивается произведением дозы реагента  $C$ , мг/л, на продолжительность контакта с микроорганизмами или простейшими  $T$ , мин. В табл. 5.3 приводятся значения  $CT$  для некоторых окислителей при условии обеззараживания на 99 %. Из табл. 5.3 следует, что наилучшие показатели (минимальные значения  $CT$ ) относятся к озону.

Таблица 5.3

Значения  $CT$  при обеззараживании  
(по опыту фирмы «Дегремон»)

Организмы	Озон РН 6...7	Хлор РН 6...7	Хлорамин РН 8...9	Двуокись хлора РН 6...7
Е-коли	0,02	0,03–0,05	95–180	0,4–0,75
Поливирусы	0,1–0,2	1,1–2,5	770–3500	0,2–0,7
Ротавирусы	0,006–0,06	0,01–0,05	3860–6480	0,2–2,1
Цисты Гьярдка лямблии	0,5–0,6	15–150	до 2200	26,0
То же Мюрис	1,8–2,0	30–630	до 1400	7,2–18,5
Криптоспоридин	2,8–18,4	до 7200	до 7200	до 78

Рассмотрим соображения, которыми руководствуются при выборе наиболее часто применяемых окислителей: хлора и озона.

Применение хлора обосновывается тем, что хлорное хозяйство присутствует на большинстве водопроводных станций. Кроме того, хлорирование имеет и экономические преимущества сравнительно с озонированием.

Недостатком хлорирования является опасность хлора как отравляющего вещества, а следовательно, часто возникающая необходимость в дехлорировании. Окислительная способность хлора меньше, чем озона, и при хлорировании интенсификация процесса более актуальна, чем при озонировании.

Последнее обстоятельство рассматривается как большое достоинство озона, необходимые дозы которого существенно ниже, чем хлора.

Недостатки озонирования заключаются в относительно большом объеме реконструкции, связанной с размещением озонаторных установок и реакторов, а также в снижении безотказности сравнительно с установками хлорирования и в повышении энергоемкости процесса очистки.

Реакторы с активированным углем для интенсификации процесса окисления чаще всего выполняются в виде герметизированных резервуаров. Необходимая продолжительность пребывания воды в реакторе определяется опытным путем и для легко окисляемых водных примесей, например, фенолов, составляет 0,1–0,15 часа, а для других примесей оказывается существенно большей.

Разработаны технические решения по реконструкции типовых водопроводных станций с применением озонирования и динамической сорбции для обеспечения глубокой очистки воды [17].

По схеме (рис. 5.6) предусмотрена возможность двойного озонирования: преозонирования для частичного разрушения наименее устойчивых загрязнений перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком и постозонирование для достижения глубокого окисления перед сорбционными фильтрами. При постозонировании вода поступает в промежуточную емкость, рассчитанную на 0,5 часа пребывания воды, для разложения растворенного в воде избыточного озона и защиты угольной загрузки сорбционных фильтров. Установлено, что при такой схеме озонирования происходит биохимическая регенерация сорбента и увеличение срока его использования на 20–30 %. Одновременно увеличивается степень очистки, так как под влиянием озона на стадии постозонирования многие органические примеси переходят в биологически разлагаемые формы. Хлорное хозяйство станции сохраняется и предназначается для профилактического хлорирования перед резервуаром чистой воды. Схема не исключает замену преозонирования прехлорированием.

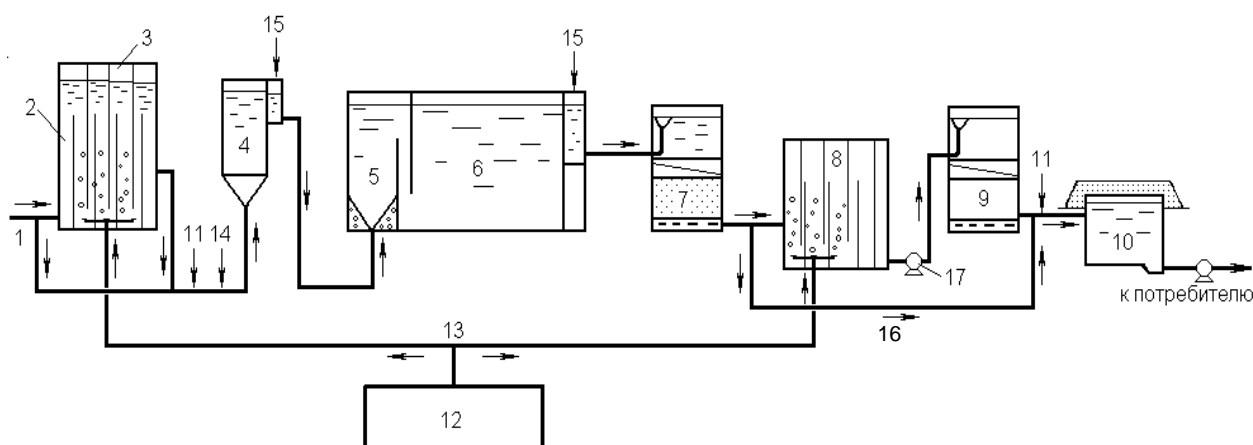


Рис. 5.6. Принципиальная технологическая схема очистки воды с применением озонирования и сорбционной фильтрации: 1 – подача исходной воды; 2 – воздухоотделитель; 3 – контактная камера первичного озонирования; 4 – смеситель; 5 – камера хлопьеобразования; 6 – отстойник; 7 – скорый песчаный фильтр; 8 – контактная камера вторичного озонирования; 9 – сорбционный зольный фильтр; 10 – резервуар чистой воды; 11 – подача хлора (постоянная или периодическая); 12 – озонаторная установка; 13 – подача озоно-воздушной смеси; 14 – ввод коагулянта; 15 – ввод флокулянта; 16 – обводные трубопроводы; 17 – насосная станция подкачки

Рассмотренная технология повышает барьерную роль водопроводной станции, обеспечивая очистку воды, содержащей техногенные загрязнения с неблагоприятными микробиологическими и паразитологическими показателями.

На генплане (рис. 5.7) указаны дополнительные сооружения, требующиеся при реконструкции: озонаторная, контактные камеры для постозонирования, здание сорбционных фильтров и др. Реконструкция выполняется в предположении, что никаких крупных строительных работ в здании существующей водопроводной станции не должно производиться и не потребуется ее отключение.

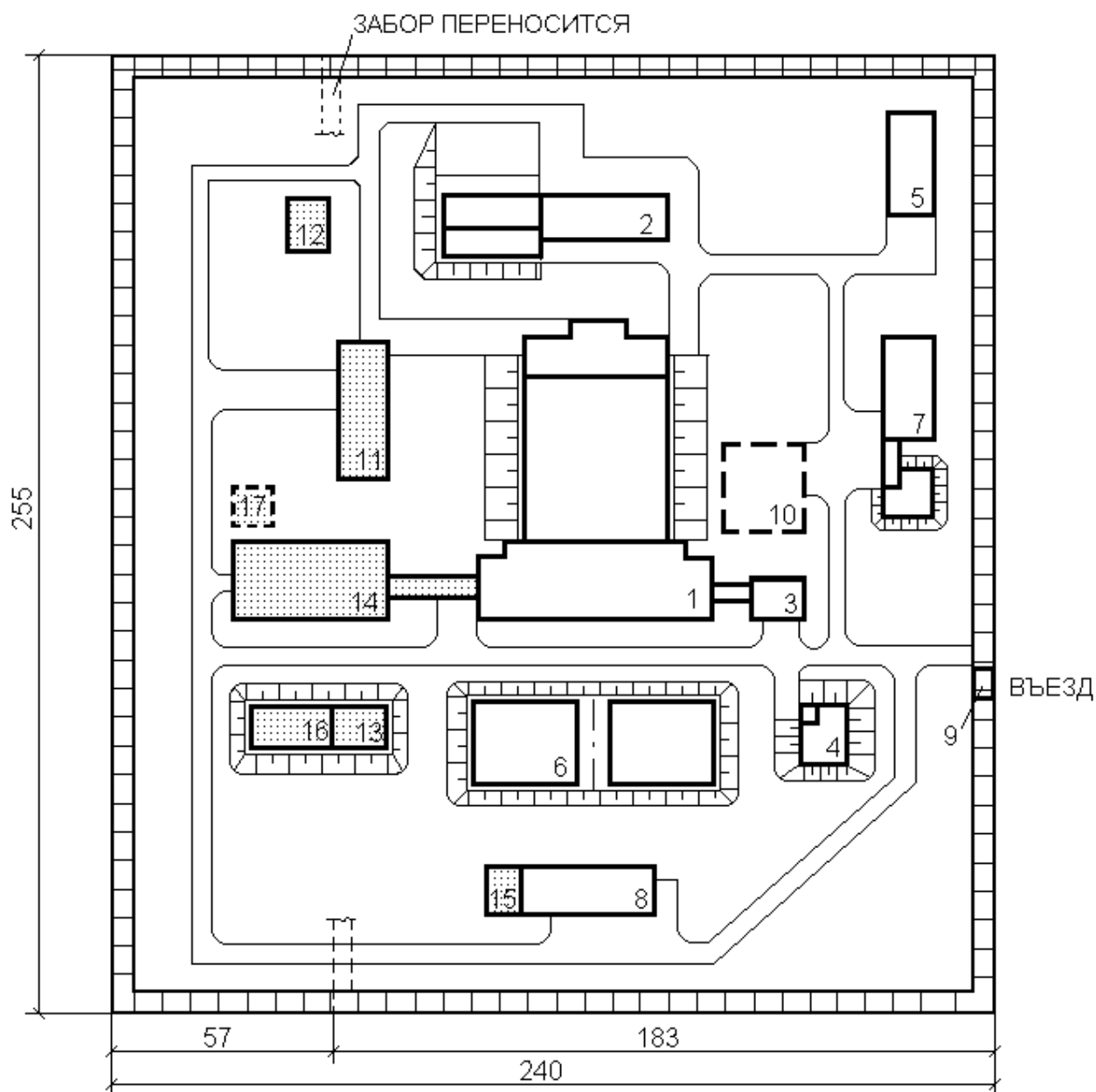


Рис. 5.7. Генеральный план площадки очистки воды производительностью 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут (реконструкция): 1 – блок входных устройств, отстойников и фильтров; 2 – реагентное хозяйство; 3 – служебный корпус; 4 – сооружения по обороту промывной воды фильтров; 5 – хлораторная; 6 – резервуары чистой воды; 7 – сооружения для обработки осадка отстойников; 8 – насосная станция второго подъема; 9 – проходная; 10 – место песковой площадки; 11 – озонаторная установка; 12 – контактная камера первичного озонирования; 13 – контактная камера вторичного озонирования; 14 – блок сорбционных угольных фильтров; 15 – насосная станция подкачки; 16 – промежуточный резервуар; 17 – место площадки для угля

### 5.3. Реконструкция при гидравлической перегрузке

#### 5.3.1. Общие положения

Водопроводные станции рассчитываются на среднечасовой расход в сутки максимального водопотребления. Превышение расчетного расхода вызывает перегрузку всех основных элементов станции. При разработке проекта реконструкции их фактическая производительность должна быть проверена расчетами и уточнена по имеющемуся опыту эксплуатации.

Лимитирующим элементом, ограничивающим повышение расходов, являются самотечные коммуникации, по которым вода поступает от одного сооружения к другому. Превышение расходов вызывает подтопление сооружений, расположенных выше по технологической линии.

Увеличение пропускной способности коммуникаций достигается либо наращиванием стенок сооружений, расположенных выше данного участка, либо прокладкой параллельно существующим дополнительными лотков или трубопроводов. То или иное решение зависит от конкретных условий реконструкции.

Результаты реагентной обработки и осветления воды решающим образом влияют на эффективность всего процесса очистки. Вместе с тем гидравлическая перегрузка ухудшает эффект очистки в отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, а иногда – фильтрах. При ней нарушаются нормальные процессы в смесителях и камерах хлопьеобразования.

Может потребоваться увеличение вместимости затворных и растворных баков и резервуаров чистой воды, баков мокрого хранения реагентов, а иногда – замена части насосно-силового оборудования. Реконструкция осуществляется путем усиления отдельных элементов станции без изменения или с изменением проектных технологических схем. В последнем случае, например, отстойники переоборудуются во флотаторы, а фильтры с зернистой загрузкой – в фильтры с плавающей загрузкой и т.д.

Выбираемый вариант реконструкции обосновывается и, в частности, исходя из условий производства работ и допустимости полного или частичного отключения станции на период реконструкции.

#### 5.3.2. Реконструкция основных сооружений водопроводной станции

**Камеры хлопьеобразования и горизонтальные отстойники.** Камеры хлопьеобразования перегородчатого или вихревого типов, как правило, сблокированы с горизонтальными отстойниками. Назначение камер заключается в создании условий для образования хорошо сформированных хлопьев, обладающих достаточно большой гидравлической крупностью.

Сохранение устойчивого эффекта очистки воды в отстойниках и осветлителях со взвешенным осадком при гидравлической перегрузке в

значительной мере зависит от качества образующихся при коагуляции хлопьев, их многочисленности и плотности. В оптимизации хлопьеобразования важную роль играет процесс смешения воды с реагентами: он должен быть кратковременным и проходить в условиях интенсивного перемешивания со значениями градиента белее 200–300 1/с.

На многих водопроводных станциях установлены гидравлические смесители: вихревые, перегородчатые или дырчатые. Обычно, градиент перемешивания в гидравлических смесителях редко превышает 100 1/с, а иногда составляет 30–50 1/с. Для улучшения перемешивания, например в вихревых смесителях, раствор реагента вводится при помощи перфорированных распределительных труб, причем истечение раствора из отверстий сопровождается образованием затопленных струй, а градиент скорости истечения несколько повышается (до 120–150 1/с). Наиболее радикальным следует считать размещение в существующих смесителях камер механического высокоградиентного перемешивания с использованием мешалок различных типов.

Профессор Г.И. Николадзе [40] замечает, что механическое перемешивание позволяет сократить необходимую продолжительность пребывания воды в отстойниках или осветлителях со взвешенным осадком, т.е. увеличить их производительность сравнительно с расчетной. Кроме того, одновременно достигается и серьезная (до 25 %) экономия коагулянта. Об эффективности высокоградиентного механического перемешивания свидетельствует и график на рис. 5.8 (линия 3).

Процесс хлопьеобразования в обработанной коагулянтами воде зависит от его продолжительности и режима перемешивания. Комплексный показатель, по которому можно судить о перспективах хлопьеобразования – критерий Кэмпбелла, равный произведению продолжительности перемешивания и градиента ее скорости. Оптимальные значения критерия Кэмпбелла назначаются с учетом вида реагента, мутности, цветности и pH воды и чаще всего составляют несколько десятков тысяч единиц. Во избежание измельчения хлопьев градиент скорости принимается не более 50–60 1/с.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования рассчитываются на пребывание воды в течение 1200–1800 секунд, а вихревые – 450–1000 секунд.

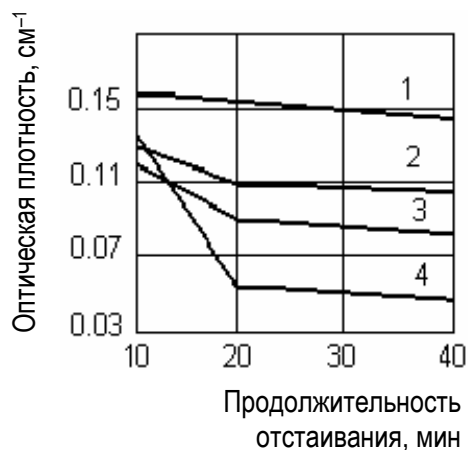


Рис. 5.8. Влияние механического перемешивания в смесителе (СМ) и камере хлопьеобразования (КХ) на процесс осветления воды при отстаивании: 1 – без перемешивания; 2 – низкоградиентное перемешивание КХ; 3 – высокоградиентное перемешивание в СМ; 4 – перемешивание в СМ и КХ

Улучшение гидравлических условий пребывания воды в вихревых камерах повышает их производительность. Особое внимание следует обратить на конструкции узла подачи и отведения воды. На рис. 5.9. приведена схема реконструкции вихревых камер водопроводной станции г. Челябинска [19]. По проекту сбор воды в камерах производился незатопленными желобами, снабженными окнами для приема воды.

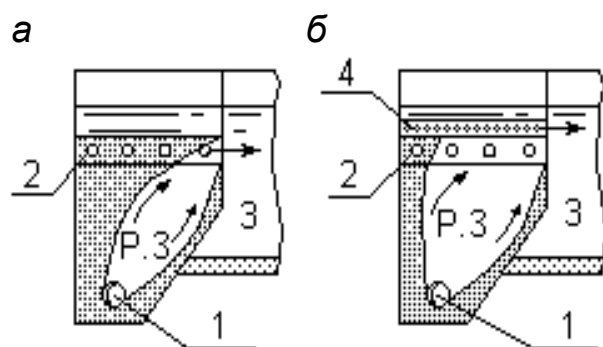


Рис. 5.9. Реконструкция камеры хлопьеобразования вихревого типа: а – до реконструкции; б – после реконструкции; Р.З. – рабочая зона; 1 – дырчатая труба для подачи воды; 2 – сборные желоба открытого типа; 3 – горизонтальный отстойник; 4 – дырчатые полутрубы, перекрывающие желоба

При эксплуатации желоба оказались затопленными, что привело к неравномерному поступлению воды только на конечных участках желобов. В результате рабочая зона оказалась уменьшенной, а коэффициент использования объема (см. формулу (5.5)) составил 2,8. При реконструкции желоба были перекрыты полутрубами, отверстия в которых создавали гидравлические сопротивления, достаточные для равномерного поступления воды по всей длине желобов. В результате коэффициент использования объема составил 1,75, а объем рабочей зоны существенно возрос.

Повышение производительности камер достигается за счет сокращения продолжительности процесса, для чего следует создавать специальные, более благоприятные условия хлопьеобразования.

Хлопьеобразование улучшается в псевдосжиженном слое зернистого материала, на поверхности частиц которого идет контактная коагуляция водных загрязнений и гидроксидов металлов (железа, алюминия). Из зашламленного псевдосжиженного слоя выносятся хорошо сформированные хлопья, поступающие с потоком воды в отстойник.

В качестве зернистого материала используют природные и керамзитовые пески, дробленый антрацит, а также гранулы вспененного полистирола, образующие плавающий фильтр, который сверху удерживается сеткой. Восходящая скорость в камерах с песчаным псевдосжиженным слоем в зависимости от материала и размера фракций песка достигает 3–4 мм/с, а нисходящая, в случае применения полистирола – до 5–6 мм/с. В результате представляется возможным существенно увеличить нагрузку на единицу объема камер (в 3–4 раза).

Контактные камеры хлопьеобразования рекомендуются при очистке маломутных цветных вод. Помимо интенсификации хлопьеобразования их применение улучшает седиментационные свойства хлопьев. Воздуш-



ное перемешивание оптимизирует процесс и позволяет повысить производительность отстойников до 50 % и более [27].

Расход воздуха составляет 5–10 % от расхода воды.

На рис. 5.10 приведена схема камеры хлопьеобразования, совмещенная с горизонтальным отстойником. Воздухораспределительные трубы  $\varnothing 15$  мм размещаются по всей площади дна камеры; отверстия в трубах рассчитываются на истечение воздуха со скоростью не более 0,7–0,8 м/с. Объем зоны воздушного перемешивания должен быть достаточен для пребывания в нем воды в течение 8–12 мин.

На станциях с вихревыми камерами хлопьеобразования последние демонтируются, и воздушное перемешивание осуществляется непосредственно в отстойниках, для чего выделяется часть объема последних.

Дополнительным преимуществом схем с воздушным перемешиванием является отдувка углекислого газа, что приводит к увеличению размеров хлопьев осадка.

На рис. 5.11 приведена схема рециркуляционной камеры хлопьеобразования. Коагулированная вода после смесителя подается в камеру соплами 6 со скоростью до 1 м/с и поступает в рециркулятор 3, выполненный по схеме струйного аппарата. Подсос в рециркулятор осадка приводит к улучшению его контакта с водными загрязнениями. Перемещаясь последовательно из одной секции хлопьеобразователя в другую, осадок дополнительно насыщается твердыми частицами, и его плотность и гидравлическая крупность хлопьев возрастают. Аналогичные результаты достигаются в камерах хлопьеобразования, оборудованных мешалками. Такие камеры рекомендуются при очистке мутных природных вод, а об эффективности механического перемешивания можно судить по графику на рис. 5.8.

Французская фирма “Дегремон” применяет схему с внешним контуром рециркуляции осадка в сочетании с обработкой специальными утяжелителями. Увеличение гидравлической крупности хлопьев позволило многократно повысить удельную нагрузку на поверхность отстойников и этим со-

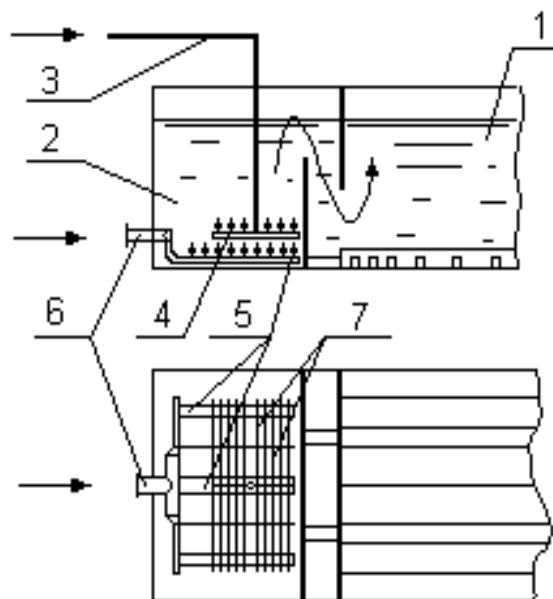


Рис. 5.10. Камера хлопьеобразования с воздушным перемешиванием: 1 — горизонтальный отстойник; 2 — камера хлопьеобразования; 3 — подача воздуха; 4 — воздухораспределительные трубы; 5 — водораспределительные трубы; 6 — подача коагулированной воды; 7 — трубопровод подачи воды

кратить их размеры: от 30 тыс. м<sup>2</sup> до 1,1 тыс. м<sup>2</sup> на водопроводной станции в Шанхае (Китай) и от 20 тыс. м<sup>2</sup> до 5 тыс. м<sup>2</sup> в Каире (Египет) [42].

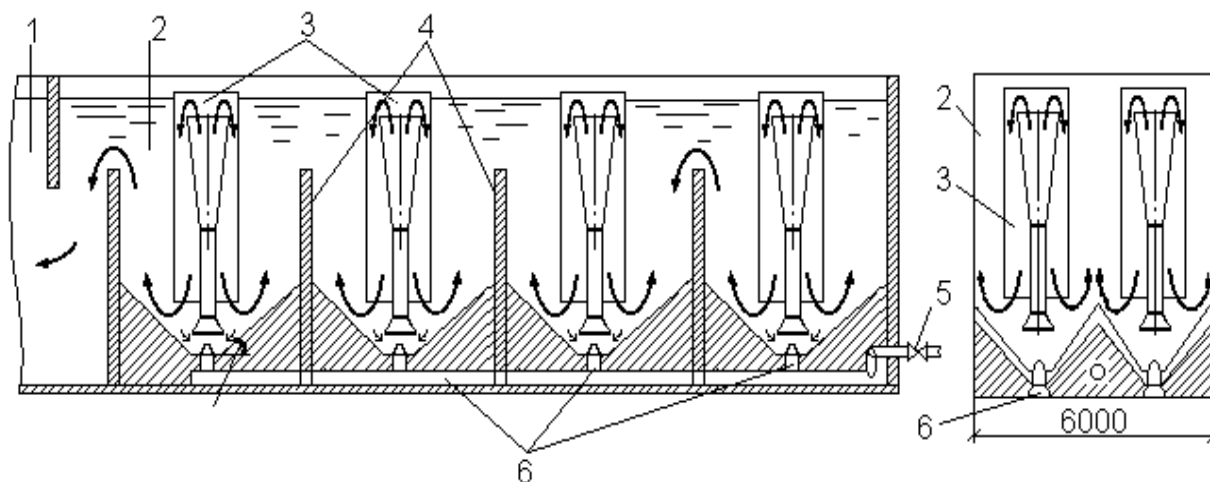


Рис. 5.11. Камера хлопьеобразования с рециркуляцией осадка: 1, 2 – отстойник и камера хлопьеобразования; 3 – рециркуляторы; 4 – перегородки, делящие объем камеры на последовательно работающие секции; 5 – подача исходной воды; 6 – распределительная труба с соплами

Регулируемое механическое перемешивание воды, высокоградиентное в смесителях и низкоградиентное в камерах хлопьеобразования, положительно влияет на осветление в отстойниках, что хорошо иллюстрируется графиками (см. рис. 5.8). На первых этапах отстаивания при оптимизации режима перемешивания формируются хлопья, имеющие большие гидравлические крупности и обеспечивающие захват значительной части грубодисперсных водных загрязнений (линия 4).

Как известно, основные размеры горизонтальных отстойников определяются зависимостью:

$$L = H_p \frac{V_{cp} \cdot \beta}{U_0}, \quad (5.4)$$

где  $L, H_p$  – длина и глубина зоны осаждения (рабочая глубина) отстойника;  $V_{cp}$  – средняя скорость горизонтального движения воды в отстойнике;  $U_0$  – скорость осаждения взвеси, принимаемая в зависимости от мутности воды и учитывающая ее реагентную обработку (коагуляцию и флокуляцию);  $\beta$  – коэффициент использования объема осадка.

$$\beta = \frac{t_T}{t_\phi} > 1, \quad (5.5)$$

где  $t_T, t_\phi$  – теоретическая и фактическая продолжительность пребывания воды в сооружении.

Рост гидравлической нагрузки приводит к увеличению горизонтальной скорости, и длина отстойника оказывается недостаточной, а требуемый эффект очистки не достигается. Восстановление эффекта возможно двумя путями: увеличением гидравлической крупности хлопьев или уменьшением значения коэффициента использования объема. В первом случае следует повысить плотность хлопьев, во втором – улучшить гидравлические условия в отстойнике и устранить причины, вызывающие образование вихрей в потоке воды.

Для повышения гидравлической крупности хлопьев, поступающих в отстойники, как отмечалось, камеры хлопьеобразования реконструируются таким образом, чтобы повысить концентрацию в хлопьях твердых примесей большой плотности. Особенно актуальна такая реконструкция при очистке маломутных и цветных вод.

В типовых проектах, по которым велось строительство большинства городских водопроводных станций России, сбор очищенной в горизонтальных отстойниках воды производился через отверстия в торцевой перегородке. Для этой схемы коэффициент использования объема принимался 1,3, что, по-видимому, сильно занижено. Коэффициент использования объема существенно уменьшается, если производить поверхностный рассредоточенный отбор воды из отстойника приблизительно на последних 60–70 % его длины. Для сбора воды применяются открытые лотки с боковыми окнами в виде треугольных водосливов, а если есть опасность обмерзания лотков – телескопические перфорированные трубы, заглубленные под уровень воды на 0,4–0,5 м, и подвешенные к перекрытию. Излив из водосборных лотков или труб должен быть свободным, без подтопления.

Подобная реконструкция отстойников на водопроводе г. Барнаула обеспечила рост производительности на 26 % при улучшении качества отстоенной воды. В коридорах отстойников шириной по 6 м размещались водосборные трубы на взаимном расстоянии 3,0 м. Сборные линии имели телескопическую схему (диаметры труб сборной линии 150, 200 и 250 мм); отверстия для сбора воды принимались диаметром 50 мм [16].

Горизонтальные отстойники рассчитаны на условия «пробкового» режима движения воды. При нарушении этого условия возникает поперечная циркуляция или обратные течения, что отрицательно сказывается на коэффициенте использования объема. Устранение таких негативных явлений достигается путем размещения в отстойнике продольных перегородок, образующих проточные каналы ограниченной ширины (до 3,0–4,5 м). Продольные вихри, образующиеся при недостаточном соотношении глубины и длины отстойника, ликвидируются поперечными дырчатыми перегородками, создающими подпор. При реконструкции горизонтальных отстойников в г. Кривой Рог с установкой двух перегородок, имеющих отверстия  $\varnothing$  110 мм

в 8 и 20 метрах от входа в отстойник, коэффициент использования объема уменьшился от 2,5 до 1,4. Общая площадь отверстий в каждой перегородке составляла 6–7 % площади живого сечения [20].

Заметим, что такую реконструкцию следует проводить с осторожностью и проверять ее эффективность в процессе эксплуатации. Перегородки, создающие подпор, могут вызвать неравномерное накопление осадков и дополнительное вихреобразование, а при истечении воды через отверстия в перегородках формируются затопленные струи с присоединенными вихрями.

Существенное повышение (в 2 и более раза) производительности достигается при переоборудовании отстойников в тонкослойные (см. табл. 5.5). Тонкослойное отстаивание чрезвычайно эффективно, так как проходит в межполочном пространстве, где создается ламинарный режим движения, при котором полностью реализуется кинетическая неустойчивость грубодисперсных примесей и отсутствует турбулентная пульсация скоростей, препятствующая осаждению. Малая высота полок сокращает длину траектории осаждения частиц.

При расчете тонкослойных модулей исходят из того, что число Рейнольдса не должно превышать 500–600, а число Фруда –  $10^{-5}$ . Последнее условие связано с тем, что поток, для которого число Фруда велико, неустойчив: в нем возникают вихри и образуются обратные течения.

При расчете тонкослойных модулей расчетная гидравлическая крупность  $U_0$  определяется экспериментально по кинетике осаждения в слое толщиной 10–15 см. Коэффициент использования объема принимается в пределах 1,6–1,3.

Предварительно задаются значениями  $h_{pe}$  и  $\alpha$  (рис. 5.12). Чем

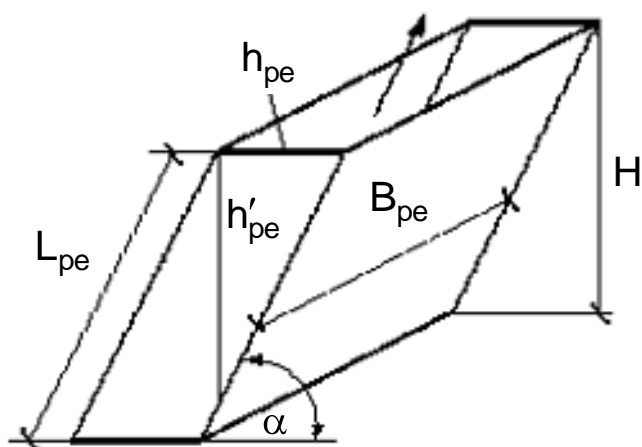


Рис. 5.12 Схема полки

больше угол наклона, тем больше заглубление модуля  $H$  и меньше площадь, занимаемая модулем в плане. Поэтому угол наклона модуля назначается с учетом габаритов реконструируемого отстойника.

Рекомендуется следующий порядок расчета:

1. Задаются допустимой глубиной  $H$  и углом наклона  $\alpha$ ; определяют строительную длину полки  $L_{pe}$ .

2. Определяют рабочую длину полки  $L_{pe}^p = (0,7 - 0,75) L_{pe}$ . В пределах рабочей длины отсутствуют вихри, вызываемые местными сопротивлениями на выходе из модуля.

3. Задаются высотой полки  $h_{pe}$  и определяют глубину полки по вертикали  $h'_{pe} = \frac{h_{pe}}{\cos \alpha}$ .

4. Из зависимости  $\frac{V \cdot B}{U_0} = \frac{L_{pe}^p}{h'_{pe}}$  определяют  $V$  – скорость движения воды в межполочном пространстве.

5. Находят минимальное значение гидравлического радиуса потока в межполочном пространстве. При условии, что  $F_r \leq 10^{-5}$ ,  $R_{min} = 10^5 \frac{V^2}{g}$ .

6. Задаются шириной полки  $B_{pe} \leq 3-6$  м, и определяют гидравлический радиус  $R = \frac{h_{pe} B_{pe}}{2 (h_{pe} + B_{pe})} \leq R_{min}$ .

7. Определяют число Рейнольдса:  $Re = \frac{V R}{\nu} \leq 500...800$ .

Если указанное условие не выполнено, то уменьшают значение  $B_{pe}$ , устанавливая дополнительные перегородки.

Профессор В.Д. Дмитриев отмечает важность равномерного распределения воды, так как продолжительность ее пребывания в тонкослойных отстойниках значительно меньше, чем в обычных [49]

На рис. 5.13, а – вариант конструкции тонкослойного отстойника. Блоки размещены последовательно вдоль продольных стен отстойника. Равномерное распределение воды между блоками обеспечивается отводом очищенной воды из отдельных блоков по перфорированным трубам большого сопротивления.

На рис. 5.13, б приведена схема реконструкции отстойника с оборудованием его тонкослойными модулями и совмещенного с камерой хлопьеобразования с воздушным перемешиванием [27]. Помимо известного эффекта воздушного перемешивания, такое решение обеспечило равномерность распределения воды между полками и улучшило коэффициент использования объема в полочном пространстве ( $\beta = 1,1$ ).

Модули выполняются из пленки или тонких листов синтетических материалов. Наклон полок к горизонту принимается от 45 до 60°, высота полок до 0,1 м, ширина (по фронту выхода) до 1–3 м. Учитывая важность равномерного распределения воды между полками, ее подачу и отведение производят по перфорированным трубам.

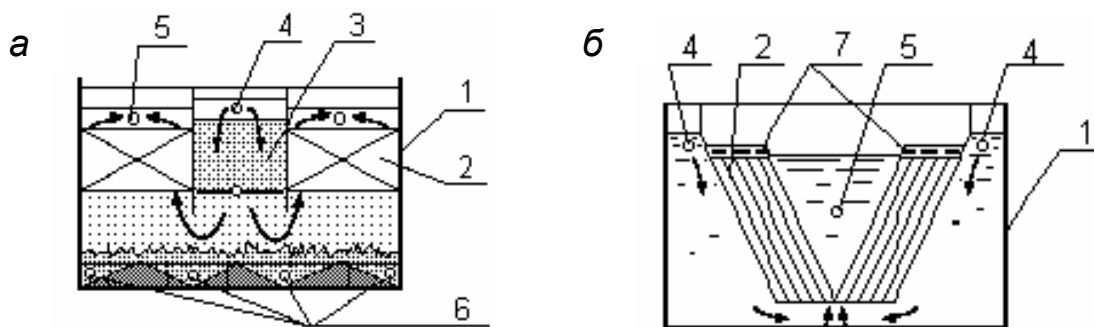


Рис. 5.13. Схема оборудования отстойника тонкослойными модулями: 1 – корпус отстойника; 2 – полочные модули; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – подача воды; 5 – отвод воды; 6 – напорная система удаления осадка; 7 – отведение воды из модулей а, б

**Осветлители со взвешенным осадком.** Увеличение гидравлической нагрузки на осветлители со взвешенным осадком приводит к повышению восходящей скорости, а в результате – к снижению степени очистки воды. Для определения направления реконструкции рассмотрим основную теоретическую зависимость, определявшую эффект осветления в псевдосжиженном слое:

$$\mathcal{E} = 1 - e^{-X}; \quad (5.6)$$

$$X = \frac{x}{V} \text{вс}^*, \quad (5.7)$$

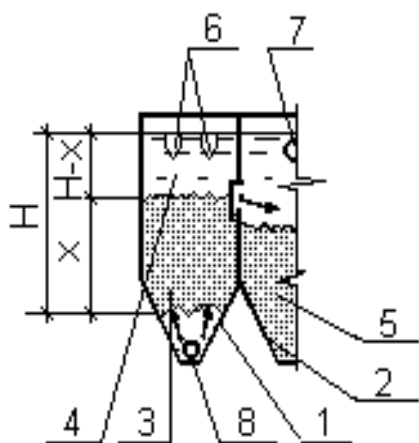


Рис. 5.14. Схема осветлителя: 1 – осветлитель; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – зона очистки во взвешенном слое; 4 – зона осветления; 5 – зона уплотнения осадка; 6 – сборные лотки; 7 – сборная дырчатая труба; 8 – подача воды

где  $\mathcal{E}$  – эффект осветления;  $X$  – безразмерный комплекс, критерий подобия процесса;  $x$  – толщина слоя осадка;  $V$  – восходящая скорость;  $\text{в}$  – эмпирический коэффициент, зависящий от качества воды и осадка;  $\text{с}^*$  – весовая (массовая) концентрация твердого вещества в осадке.

Из формул (5.6) и (5.7) следует, что при увеличении  $V$  эффект очистки можно сохранить при соответствующем увеличении толщины слоя  $x$ , либо весовой концентрации  $\text{с}^*$ , либо того или другого одновременно.

Как следует из рис. 5.14, в осветлителе формируется две зоны: взвешенного осадка и осветления, имеющие приблизительно одинаковые толщины (2,0–2,5 м). Увеличение  $x$  приводит к уменьшению толщины зоны осветления и снижению ее задерживаю-

щей способности. Восстановление задерживающей способности зоны осветления достигается при размещении в ней тонкослойных модулей. Согласно [3] удельная нагрузка, отнесенная к площади зеркала воды в зоне осветления и принимаемая в зависимости от качества природной воды, составляет для маломутных и цветных вод после их коагуляции от 3 до 3,5 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>, вод средней мутности – от 3,6 до 4,5, а мутных вод – от 4,6 до 5,5 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>. Эти нагрузки на 20–25 % больше тех, по которым определяется площадь зоны при отсутствии тонкослойных модулей. Таким образом, вариант реконструкции, предусматривающий изменение высотного положения окон для отведения осадка в осадконакопитель и увеличение за счет этого производительности осветлителя на 10–20 % технологически возможен.

Увеличение весовой концентрации  $c^*$  достигается многократными контактами хлопьев осадка с грубодисперсными примесями исходной воды. Здесь применимы те же приемы, что и при улучшении осаждаемости хлопьев в камере хлопьеобразования отстойников, т.е. многократное смешение осадка с водой. На рис. 5.15 приведена схема осветлителя с рециркуляцией осадка, в которой использован тот же прием, что и в камерах хлопьеобразования с рециркуляторами. В связи с дополнительным взмучиванием осадка при работе рециркулятора, в области осветления осадкоуплотнителя целесообразно установить тонкослойные модули. Рециркуляция особенно эффективна при очистке маломутной и цветной воды, после коагуляции которой образуются хлопья с очень малой весовой концентрацией твердых частиц. Рециркуляция позволяет повысить восходящую скорость в осветлителе на 20–30 % и более. К другим направлениям реконструкции относятся: использование для очистки осадкоуплотнителей и улучшение значения коэффициента использования объема осветлителей.

Площадь зеркала воды осадкоуплотнителя составляет не менее 15–20 % от площади осветлителей. При небольшой реконструкции представляется возможным подавать часть воды в осадкоуплотнители и использовать их как дополнительные осветлители. Периодически подача воды в осадкоуплотнители временно прекращается, они используются по своему прямому назначению и избыток осадка выпускается по иловым трубопроводам.

Уменьшение коэффициента использования объема осветлителей достигается усовершенствованием систем отведения очищенной и особенно подачи коагулированной воды. Для гашения скоростного напора подающие распределительные трубы размещают в слое щебня с фракциями от 30 до 50 мм толщиной 120 мм или фракциями 4–12 мм слоем до 300 мм (рис. 5.16). Дополнительный эффект достигается при образовании хорошо сформированных хлопьев, выносимых из контактной среды (слоя щебня). В результате производительность осветлителей суще-

ственно повышается. Так при реконструкции осветлителей в Новосибирске путем усовершенствования систем подачи и отведения воды производительность сооружений возросла на 25 %; в [21] указывается на возможность роста производительности в 1,5 раза.

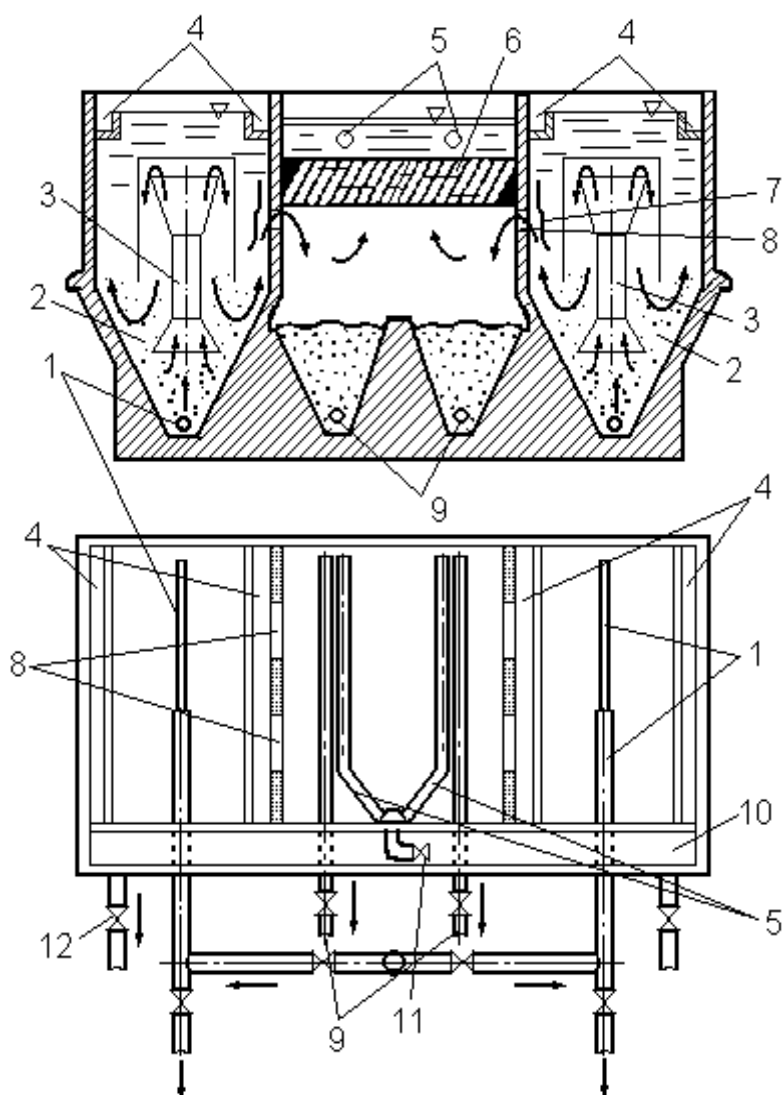


Рис. 5.15. Осветлитель коридорного типа с рециркуляцией осадка и тонкослойными модулями: 1, 12 – подача исходной и отвод осветленной воды; 2 – слой взвешенного осадка; 3 – рециркулятор; 4 – желоба сбора осветленной воды; 5 – перфорированные трубы для отвода осветленной воды из осадкоуплотнителя; 6 – тонкослойные модули; 7 – защитные козырьки; 8 – окна отвода избытка осадка из рабочих коридоров в осадкоуплотнитель; 9 – перфорированные трубы сброса осадка из осадкоуплотнителя; 10 – боковой карман сбора осветленной воды; 11 – регулирующая задвижка



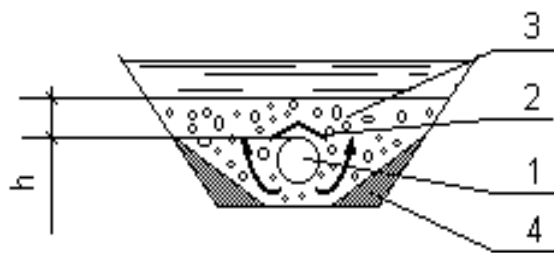


Рис. 5.16. Деталь распределительной системы осветлителя: 1 – подающий трубопровод; 2 – защитный козырек; 3 – щебень; 4 – подбетонка

**Скорые фильтры.** Скорые фильтры с зернистой загрузкой обладают автомодельностью, т.е. способностью сохранять постоянный эффект очистки при изменении скоростей фильтрования. Критерием автомодельности является условие  $X^1 \geq X^1_{\min}$ , где  $X^1$  – размерный параметр:

$$X^1 = \frac{x}{V^{0,7} d^{1,7}}, \quad (5.8)$$

где  $x$  – толщина слоя загрузки, см;  $V$  – скорость фильтрования, м/ч;  $d$  – эквивалентный диаметр зерен загрузки, мм.

Допустимое значение  $X^1_{\min}$  при фильтровании коагулированной воды в двухступенчатой схеме очистки определяется экспериментально и чаще всего составляет 15–20. Поэтому при гидравлической перегрузке обычно не наблюдается снижения качества фильтрата, но сокращается продолжительность межпромывочного периода. Последнее обстоятельство и лимитирует возможность форсирования фильтров.

Режим работы фильтров обусловлен продолжительностью защитного времени  $t_3$  и продолжительностью межпромывочного периода, значение которого соответствует моменту достижения предельных потерь напора  $t_H$ . По соображениям санитарной надежности принимают  $t_H = (0,7 \dots 0,8) t_3$ .

Продолжительность межпромывочного периода приравнивают к  $t_H$ , и от нее зависит количество промывок фильтра за сутки, которое, как правило не должно превышать трех. Преобразуя и упрощая известные формулы по определению значений  $t_3$  и  $t_H$ , находим ориентировочную зависимость защитного времени и времени достижения предельных потерь напора от скорости фильтрования:

$$\frac{t_{3(2)}}{t_{3(1)}} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{1,7} \frac{x - X_0 V_2^{0,7} d^{1,7} \beta}{x - X_0 V_1^{0,7} d^{1,7} \beta}, \quad (5.9)$$

$$\frac{t_{H2}}{t_{H1}} = \frac{H_{\max} - H_{02}}{H_{\max} - H_{01}} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{1,7}, \quad (5.10)$$

где  $X_0$  – коэффициент, зависящий от эффекта осветления воды при фильтровании (табл. 5.2);  $\beta$  – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств воды;  $H_{\text{пр}}$  – предельные потери напора, см;  $H_0$  – потери напора в загрузке после промывки, см. Индекс «1» относится к проектному режиму, а индекс «2» – к режиму фильтрования при перегрузке. Остальные обозначения те же, что и для формулы (5.8).

Таблица 5.4

Значения коэффициентов  $X_0$  и  $K$

Э %	97	95	90	85	80
$X_0$	4,2	3,7	3,0	2,2	1,8
$K$	1,86	1,69	1,51	1,45	1,36

**Пример 5.4.** Фильтр, для которого  $x = 150$  см,  $d = 1$  мм, рассчитан на скорость фильтрования  $V = 8$  м/ч, эффект очистки  $\text{Э} = 95\%$  ( $X_0 = 3,7$ ),  $\beta = 0,4$ . Предельные потери напора  $H_{\text{пр}} = 150$  см, потери напора  $H_{01} = 60$  см,  $t_{3(1)} = 15$  ч,  $t_{H1} = 12$  ч. Определить  $t_{H2}$  и  $t_{3(2)}$ , если  $V_2 = 12$  м/ч,  $H_{02} = 85$  см.

Решение:

$$t_{3(2)} = 15 \left( \frac{8}{12} \right)^{1,7} \frac{150 - 3,7 \cdot 12^{0,7} 1,0^{1,7} \cdot 0,4}{150 - 3,7 \cdot 8^{0,7} 1,0^{1,7} \cdot 0,4} = 7,44 \text{ ч};$$

$$t_{H2} = 12 \frac{150 - 85}{150 - 60} \left( \frac{8}{12} \right)^{1,7} = 4,5 \text{ ч}.$$

Расчет указывает на невозможность повышения скорости фильтрования до 12 м/ч по эксплуатационным соображениям, так как количество промывок фильтров достигнет 6 за сутки, что связано с ростом расходов воды на промывку и усложнением работы операторов. Кроме того, коэффициент санитарной надежности уменьшается от 0,8 до 0,6. Заметим попутно, что повышение скорости в пределах, указанных в примере, не приведет к ухудшению качества фильтрата.

Реконструировать фильтры с целью повышения их производительности, как это видно из формул (5.11) и (5.12), можно либо за счет увеличения толщины слоя загрузки  $x$ , либо изменением гранулометрического состава и однородности фильтрующей загрузки, либо за счет того или иного одновременно. Согласно теории фильтрования Д.М. Минца,

$$t_3 = \frac{\beta}{\alpha} \frac{1}{V^{1,7} d^{0,7}} \frac{1}{K} \left( \frac{x}{\beta} - X_0 V^{0,7} d^{1,7} \right), \quad (5.11)$$

$$t_n = \frac{H_{\max} - H_0}{\varphi H_0 f(A)} \frac{\beta}{\alpha} \frac{x}{V^{1,7} d^{0,7}}, \quad (5.12)$$

где  $\alpha, \beta$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств воды и осадков;  $K$  – коэффициент, зависящий от эффекта осветления при фильтровании (табл. 5.4);  $f(A)$  – экспериментальный коэффициент, зависящий от качества воды, осадков и гранулометрического состава зернистой загрузки фильтров;  $\varphi$  – степень однородности загрузки. Остальные обозначения указаны выше.

Задача заключается в сохранении проектных или приемлемых по условиям эксплуатации значений  $t_3$  и  $t_n$  с увеличением скорости фильтрования. При этом значения коэффициентов  $\alpha, \beta, f(A)$  не изменяются, а возможности изменения  $H_{\text{доп}}$  ограничиваются высотной схемой. Увеличение  $H_{\text{доп}}$  не должно привести к подтоплению отстойников или осветлителей. Начальный напор после промывки  $H_0$  будет меняться в зависимости от  $x$  или от состава загрузки.

Резерв, который можно использовать для увеличения толщины слоя загрузки, имеется только у фильтров с дренажом большого сопротивления и гравийным поддерживающим слоем, толщина которого составляет около 0,6 м. Если заменить перфорированные распределительные трубы дренажа щелевыми и отказаться от поддерживающего слоя, то толщина загрузки увеличится на 40–50 см. Это позволяет повысить скорость фильтрования на 1–1,5 м/ч и, соответственно, производительность фильтров – на 10–20 %.

Щелевые дренажи выполняются из нержавеющей стали или полиэтилена высокой плотности. Щели нарезаются шириной на 0,1 мм меньше минимального диаметра зерен загрузки. Суммарная площадь щелей находится в пределах 1,5–2,0 % площади фильтра (рис. 5.17).

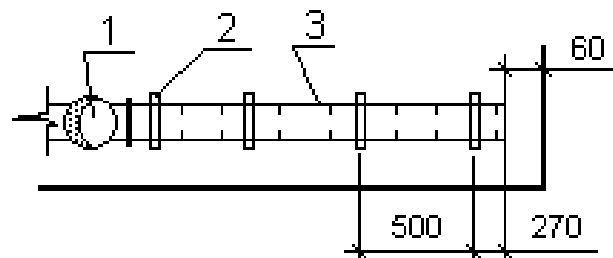


Рис. 5.17. Щелевой дренаж: 1 – коллектор; 2 – хомут на поддерживающей стойке; 3 – щелевая труба

Из приведенных формул (5.9), (5.10) следует, что повышение скоро-

сти фильтрования компенсируется уменьшением диаметра фракций загрузки. Уменьшение крупности загрузки однозначно связано с уменьшением ее грязеемкости, и это требует повышения степени очистки в отстойниках или осветлителях.

Альтернативой является переоборудование однослойных фильтров в двухслойные. Верхний слой загрузки из крупнозернистого материала выполняет функции профильтра, снижая концентрацию загрязняющих веществ в несколько раз, а требуемая степень доочистки достигается при фильтровании через нижний слой мелкозернистого материала, имеющего малую грязеемкость.

Переоборудование однослойных фильтров на керамзито–песчаные двухслойные при сохранении без изменения общей толщины фильтрующего слоя, позволяет повысить их производительность на 15–20 %.

Пусть скорый фильтр загружен кварцевым песком с эквивалентным диаметром 0,7–0,8 мм слоем 0,7 м. По табл. 21 СНиП 2.04.02.-84 [3] скорость фильтрования для такого фильтра рекомендуется 5 м/ч. При реконструкции заменим дренаж фильтра на щелевой, откажемся от поддерживающего слоя и заменим загрузку на двухслойную: из керамзита диаметром 0,9–1,1 мм слоем 0,5 м и кварцевого песка с эквивалентным диаметром 0,7–0,8 мм слоем 0,7 м. Согласно [3] скорость фильтрования реконструируемого фильтра принимается 7,0 м/ч, т.е. на 40 % больше, чем до реконструкции. Разумеется, в этом случае следует заменить дренаж, увеличить пропускную способность трубопроводов, производительность системы промывки, поднять водосборные лотки и т.д.

Негативное влияние уменьшения крупности загрузки на время достижения предельных потерь напора снижается, если увеличивается однородность загрузки и  $\phi \rightarrow 1,0$ . Однако, как отмечается в [21], получение однородной загрузки приводит к ее удорожанию, так как большой процент песка уходит в отсеб при подготовке фильтрующего материала.

Производительность фильтров в большой мере зависит от качества фильтрующих материалов: межзерновой пористости  $P$ , % и коэффициента формы  $\alpha_{\phi}$ . Увеличение пористости повышает грязеемкость, а коэффициент формы – задерживающую способность загрузки.

В типовых проектах, по которым производилось строительство большинства водопроводных станций России, загрузочным материалом являлся кварцевый песок ( $P = 40$  %,  $\alpha_{\phi} = 1,17$ ). Многие местные фильтрующие материалы имеют лучшие показатели качества. Так, у применяемого на Дальнем Востоке гранодиорита  $P = 48–56$  % и  $\alpha_{\phi} = 1,41–1,73$ , у используемых на водопроводных станциях Сибири горелых породах  $P = 52–60$  %,  $\alpha_{\phi} = 2,0$ .

В ряде случаев замена фильтрующей загрузки на более эффективную при небольшой реконструкции трубопроводов позволяет увеличить

производительность фильтров на 20–30 % и более.

### 5.3.3. Реконструкция с изменением технологической схемы

Реконструкция существующих сооружений не всегда оказывается достаточной, и тогда следует рассмотреть возможность их замены более эффективными.

Сооружения первой ступени очистки (отстойники или осветлители) могут быть реконструированы и перестроены во флотаторы. Площадь, занимаемая флотаторами при данном расходе значительно меньше, чем площади, занимаемые другими сооружениями, так как у флотаторов наибольшая удельная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> площади зеркала воды.

Таблица 5.5

Удельные нагрузки  $q_{уд}$

Вид сооружения	$q_{уд}$ м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ч	Литературный источник
Горизонтальные отстойники	1,3–2,2	[3]
То же с тонкослойными модулями	3,0–5,5	[18]
Осветители со взвешенным осадком	2,5–4,3	[3]
Флотаторы	6,0–8,0	[22]

*Примечание:* бóльшие значения относятся к мутным, а меньшие – к маломутным водам.

Флотационные установки имеют ряд преимуществ по сравнению с отстойниками или осветлителями. Помимо интенсификации очистки они эффективно удаляют из воды фитопланктон, что позволяет отказаться от микрофильтров, а также нефтепродукты и масла.

Применяется напорная флотация с коэффициентом рециркуляции 0,08–0,1. Вода во флотатор поступает из существующей камеры хлопьеобразования. При реконструкции схем с осветлителями необходимо дополнительно предусмотреть камеры хлопьеобразования.

Флотационные установки помимо камер хлопьеобразования и флотационных камер включают сатураторы и насосные установки для приготовления водовоздушного раствора.

В сатураторах размещается насадка из колец Рашига; сжатый воздух подводится от ресивера компрессорной станции (рис. 5.18).

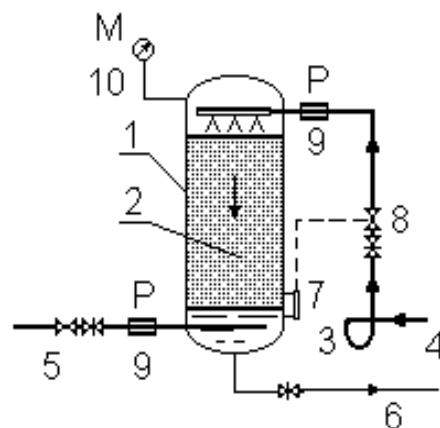


Рис. 5.18. Установка сатуратора: 1 – напорный бак; 2 – насадка (кольца Рашига); 3 – насосный агрегат; 4 – очищенная вода после фильтрации; 5 – сжатый воздух из ресивера; 6 – водовоздушный раствор; 7 – уровнемер; 8 – регулирующий клапан; 9 – расходомер; 10 – манометр

На рис. 5.19 показана принципиальная схема флотационной установки на базе реконструированного горизонтального отстойника.

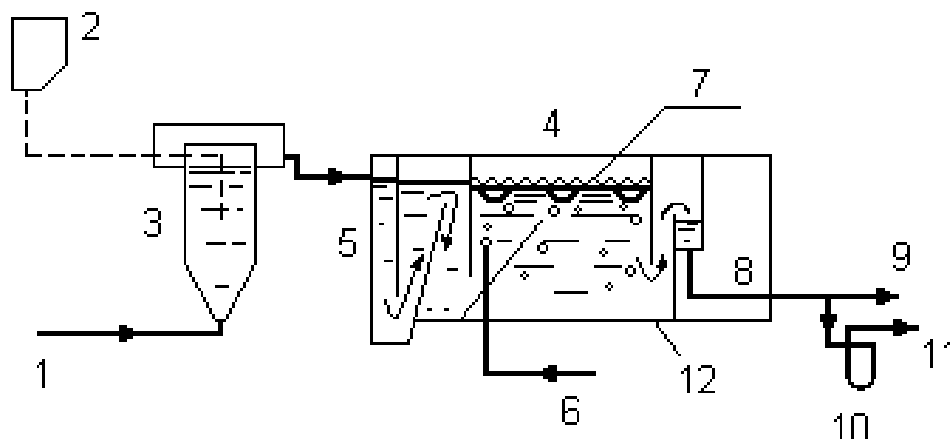


Рис. 5.19. Схема флотационной установки при реконструкции отстойника: 1 – подача сырой воды; 2 – растворный бак; 3 – смеситель; 4 – существующий отстойник; 5 – вихревая камера хлопьеобразования; 6 – водовоздушный раствор из сатуратора; 7 – флотационная камера; 8 – очищенная вода; 9 – подача на фильтры; 10 – насосный агрегат; 11 – подача в сатуратор; 12 – отстойник

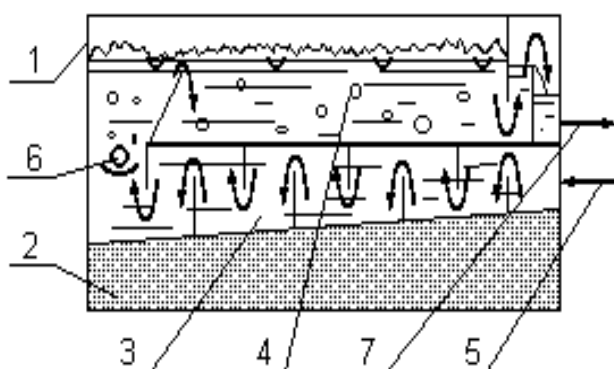


Рис. 5.20. Схема флотатора при реконструкции осветлителя коридорного типа: 1 – корпус осветлителя; 2 – забетонированная трапецеидальная часть осветлителя; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – флотационная камера; 5 – подача коагулированной воды; 6 – распределительная система водовоздушного раствора; 7 – трубопровод очищенной воды

На рис. 5.20 приведена схема реконструкции осветлителя коридорного типа. Трапецеидальная часть осветлителя засыпается и бетонируется. Остальной объем образует две зоны: нижнюю, оборудованную как камера хлопьеобразования, и верхнюю, используемую в качестве камеры флотации. Аналогично перестраиваются и осадкоуплотнители.

Для проектирования принимаются следующие значения основных характеристик флотационных установок:

- продолжительность пребывания воды во флотационной камере от 20 до 30 мин;
- глубина слоя воды во флотационной камере (рабочая глубина) 1,5–2,5 м;
- давление в сатураторе 0,6–0,8 мПа [22].

В зависимости от формы в плане реконструируемого сооружения флотационные камеры могут быть круглыми или прямоугольными.

Ширина прямоугольной флотационной камеры принимается не более 6,0 м, длину следует принимать в 1,5–3,0 раза больше ширины. Подробные указания по проектированию флотационных установок содержатся в [22].

Увеличение производительности водопроводной станции достигается путем перехода на двухступенчатое фильтрование. Схема очистки при двухступенчатом фильтровании включает: сетчатые барабанные фильтры, входную камеру со смесительными устройствами, контактные префильтры, фильтры второй ступени. Таким образом, при реконструкции необходимо дополнительно предусмотреть сетчатые фильтры и переоборудовать отстойники или осветлители в префильтры.

Помимо увеличения производительности станции переход на технологию двухступенчатого фильтрования обеспечивает стабильный и высокий эффект очистки воды, маневренность работы сооружений при колебаниях качества воды источника, экономию коагулянта [23].

Двухступенчатое фильтрование рекомендуется для очистки воды малой и средней мутности и цветности. Принципиальная схема очистки (рис. 5.21) вписывается в высотную схему реконструируемых станций. Контактные префильтры загружаются песком плотностью 2,6–2,65 г/см<sup>3</sup> слоем толщиной 2,0–2,2 м и оборудуются дренажом большого сопротивления и гравийным поддерживающим слоем.

Скорость фильтрования и параметры загрузки приведены в табл. 5.6.

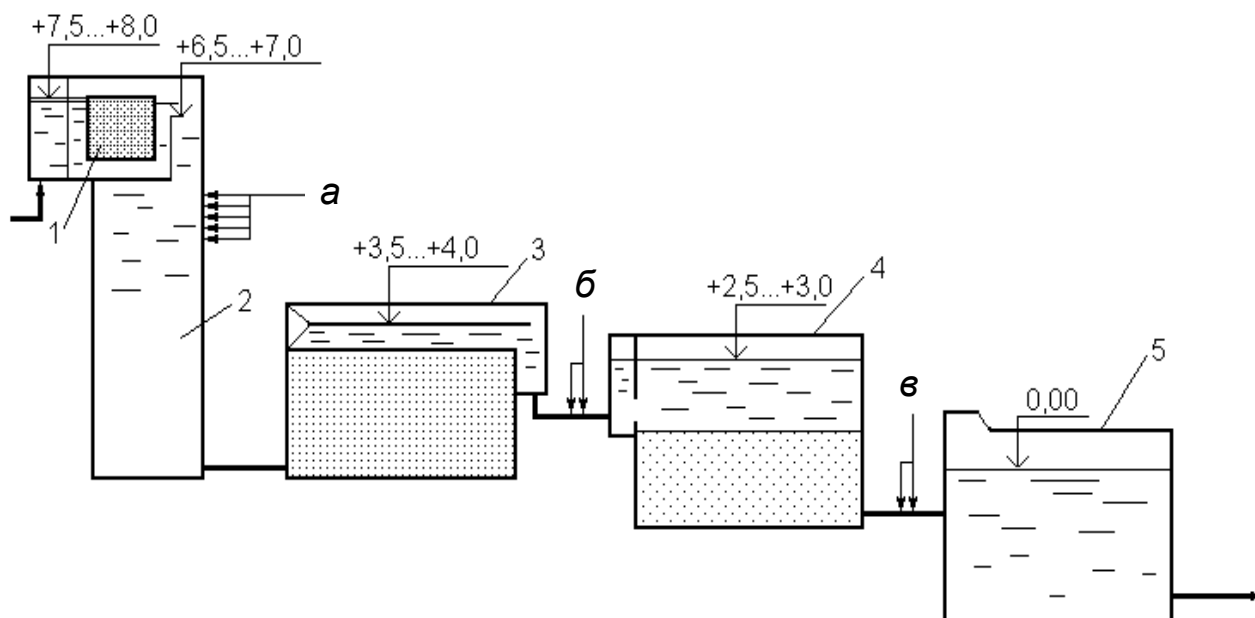


Рис. 5.21. Принципиальная схема станции с двухступенчатыми фильтрами: а – подача хлора, извести, коагулянта, флокулянта; б – дополнительная подача коагулянта; в – подача хлора, соды; 1 – сетчатые барабанные фильтры; 2 – входная камера со смесителем; 3 – контактные префильтры; 4 – фильтры; 5 – резер-

Параметры префильтров с песчаной загрузкой [23]

Исходная вода (после ввода реагентов)		Эквивалентный диаметр за- грузки, мм	Коэффициент неоднородно- сти (общий)	Скорость фильтрования	
взвеси, мг/л	цветность, град			нормальный режим	форсирован- ный режим
250–300	150–250	1,2–1,3	2,0–2,2	5,5	6,5
150–200	100–150	1,1–1,2	–	6,0	7,0
100–150	до 100	1,0–1,1	–	6,5	7,5

Скорости фильтрования указаны для продолжительности фильтроцикла 12 часов. Фильтры второй ступени не реконструируются или реконструируются, но при этом скорости фильтрования принимаются на 15–20 % больше, чем по нормативам [3].

Префильтры могут иметь плавающую загрузку из пенополистирола. Как известно, плавающая загрузка обладает высокой грязеемкостью, позволяющей поддерживать высокие скорости фильтрования, удешевить и упростить процесс промывки.

Главное преимущество плавающих загрузок заключается в способности самопроизвольно фракционироваться по высоте с образованием многослойного фильтра, обладающего повышенной грязеемкостью, кроме того, плавающая загрузка легко промывается в нисходящем потоке воды. Вспенивание гранул полистирола производится на месте его применения путем обработки паром или водой температурой до +105 °С [51].

Фильтры с двухслойной плавающей загрузкой и с восходящим фильтрационным потоком обеспечивают достаточную очистку воды при высоких скоростях фильтрования на второй ступени. Рекомендуемые параметры фильтров приведены в табл. 5.7 [51].

Таблица 5.7

Параметры префильтров с двухслойной плавающей загрузкой [21]

Слой	Характеристика фильтрующего слоя					Скорость фильтрования, м/ч		Промывка	
	диаметр гранул, мм			коэф- фици- ент не- одно- родно- сти	толщи- на, м	нор- маль- ная	форси- рован- ная	интен- сив- ность, л/см <sup>2</sup>	рас- ход
	мини- маль- ный	макси- маль- ный	эквива- лент- ный						
Верх-	0,5	1,00	0,7	1,7	0,6	8	10	12–15	50



ний	1,0	2,00	1,4	1,6	1,0	7	9		
	1,0	1,25	1,1	1,1	1,0–1,2	8	10		
	0,6	1,00	0,75	1,5	0,5	8	10		
Нижний	1,1	1,40	1,20	1,2	0,3	–	–	–	–

Размеры фильтров рекомендуется принимать не более 6×6 м по условиям промывки. Надфильтровое пространство делается общим или взаимосвязанным для всех фильтров, или разбито на секции по 3–4 фильтра. На рис. 5.22 один из четырех фильтров показан в режиме промывки.

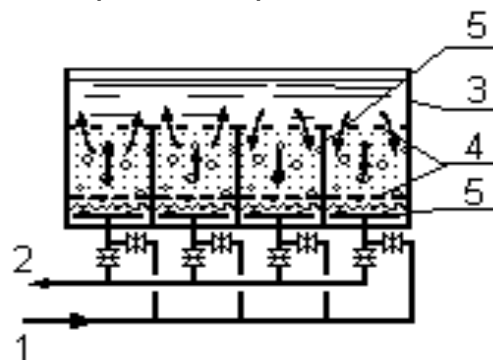


Рис. 5.22. Схема переоборудования горизонтального отстойника на блок префильтра: 1 – подача воды; 2 – подача промывочной воды; 3 – корпус отстойника; 4 – сетки; 5 – дренаж; 6 – перегородки

Реконструкция с изменением технологической схемы очистки всегда требует большого объема монтажных работ и отключения водопроводной станции.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие сложности возникают при эксплуатации очистных сооружений водопровода?
2. Перечислить возможные пути улучшения работы очистных сооружений.
3. В каких случаях применяется доочистка адсорбцией?
4. От чего зависит продолжительность работы сорбционных фильтров?
5. В чем смысл применения деструктивных способов очистки воды?
6. Каким образом достигается интенсификация деструкции водных примесей?
7. Перечислить достоинства и недостатки хлорирования.
8. Перечислить достоинства и недостатки озонирования.
9. В чем причины гидравлической перегрузки водопроводных станций?
10. Каковы пути экономии коагулянта?
11. Назвать способы интенсификации хлопьеобразования.
12. В чем смысл интенсификации хлопьеобразования с применением рециркуляции осадка?
13. В чем состоит эффект от применения тонкослойного модуля?
14. Какова последовательность расчета тонкослойных модулей?
15. Перечислить методы улучшения работы осветлителей со взвешенным осадком.
16. Назвать пути улучшения работы скорых фильтров.

17. В каких случаях при реконструкции целесообразно применять флотационные установки?

18. Когда целесообразно применять дополнительную ступень фильтрации?

## **6. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

### **6.1. Общие положения**

Очистные сооружения рассчитаны на очистку городских сточных вод, загрязненность которых оценивается двумя показателями: БПК<sub>полн.</sub> и содержанием взвешенных частиц. Чаще всего значения БПК и концентрация взвесей не превышает 150–200 мг/л. При полной биологической очистке БПК и содержание взвесей снижаются до 15 мг/л, а при доочистке – до 3–10 мг/л. Осадки, образующиеся на очистных сооружениях, обезвоживаются и стабилизируются.

Традиционный состав очистных сооружений включает решетки, песколовки, первичные отстойники, установки для биологической очистки (аэротенки или биофильтры), контактные резервуары, перед которыми очищенная вода хлорируется. Осадки стабилизируются в аэробных стабилизаторах или в метантенках и обезвоживаются на иловых площадках либо механическим способом (центрифуги, вакуум-фильтры, фильтрпрессы).

Движение сточных вод в пределах очистных сооружений самотечное, что обеспечивается высотным расположением отдельных сооружений в технологической линии.

Для доочистки предусматривается блок дополнительных сооружений (фильтры и другие).

Основные сооружения станции рассчитываются на максимальный часовой расход в сутки максимального водоотведения.

Режим поступления сточных вод и их качество существенно меняются в течение суток, что характерно даже для станций большой производительности.

Отдельные группы сооружений станции очистки технологически связаны между собой, и поэтому задача реконструкции должна рассматриваться как комплексная. Так, более эффективное задержание крупногабаритных отбросов решетками облегчает условия работы песколовков, первичных отстойников и илового хозяйства. Повсеместно применяемые грабельные решетки с зазорами 16 мм задерживают не более 1,5–1,9 кг отбросов на 1000 м<sup>3</sup> сточных вод. Применение современных ступенчатых решеток РС с зазорами 2–3 мм увеличивает степень задержания отбросов на 30 % и более (до 2,4 кг/1000 м<sup>3</sup>).

Габариты ступенчатых решеток позволяют их устанавливать в каналах существующих зданий решеток (рис. 6.1, табл. 6.1).

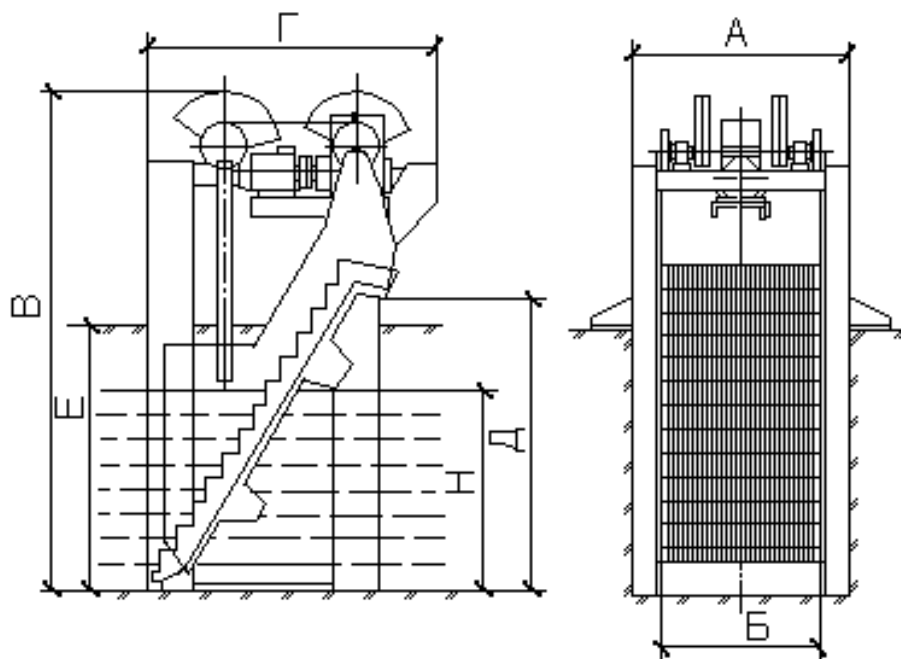


Рис. 6.1. Механическая ступенчатая решетка: А – ширина решетки – ширина канала (бака); Б – ширина фильтрующей части; В – общая высота решетки; Г – длина решетки; Д – высота выгрузки осадка; Е – максимальная глубина канала (бака); Н – максимальный уровень жидкости перед решеткой

Таблица 6.1

Габариты решеток РС

Параметр	Тип ступенчатой решетки				
	РС-500	РС-630	РС-1000	РС-1560	РС-1960
Ширина канала (бака), мм	500	630	1060	1560	1960
Ширина фильтрующей части, мм	350	440	840	1270	1670
Общая высота, мм	1320	1580	2530	4420	5050
Длина, мм	850	1160	1440	2420	2820
Высота выгрузки осадка, мм	750	890	1500	2960	3650
Максимальная глубина канала (бака), мм	800	1000	1500	2070	3000
Ширина прозоров, мм	2	2	2	4	6
Толщина фильтрующих пластин, мм	2	3	3	3	3
Номинальная производительность по сточной жидкости, м <sup>3</sup> /ч	210	280	970	2500	5900
Номинальная производительность по чистой воде, м <sup>3</sup> /ч	315	420	1455	3750	8850

Масса, кг	380	790	2380	6640	8020
Максимальный уровень жидкости перед решеткой, мм	500	660	1200	1400	2200
Мощность электродвигателя, кВт	0,37	1,5	1,5	2,2	2,2

Повышение степени очистки в первичных отстойниках однозначно приводит к разгрузке аэротенков или биофильтров и облегчает задачи реконструкции последних.

Необходимость в реконструкции очистных сооружений возникает главным образом при гидравлической перегрузке, а иногда – при необходимости доочистки. Как и в других случаях реконструкции, выбор метода и расчеты следует проводить после тщательного изучения технологических возможностей существующих сооружений и фактических условий их работы.

## 6.2. Реконструкция при гидравлической перегрузке

Эффективным способом повышения суточной производительности очистных сооружений является регулирование притока воды с установкой перед ними усреднителя расходов и качества (см. разд. 4).

Защитить усреднители от накопления в них песка практически невозможно. Поэтому перед ними целесообразно дополнительно размещать песколовки, рассчитанные на максимальные часовые расходы воды.

Превышение расходов сточных вод сравнительно с расчетными ухудшает работу всех основных сооружений: отстойников – из-за недостаточных размеров, а аэротенков – вследствие недостаточной продолжительности аэрации. При проектировании коммуникации рекомендуется рассчитывать по завышенным на 10–30 % расходам сравнительно с расчетными; поэтому реконструкция каналов и труб может и не потребоваться.

### 6.2.1. Реконструкция сооружений для механической очистки

**Первичные отстойники.** Эффект очистки в первичных отстойниках при проектировании принимается 40–60 % по взвешенным веществам и 20–30 % по БПК. Расчетным считается эффект очистки по взвесям.

Удельная производительность отстойников, отнесенная к единице площади зеркала воды, прямо пропорциональна коэффициенту использования объема  $K_{\text{сет}}$  и гидравлической крупности взвешенных частиц  $U_0$ , определяемой с учетом требуемого эффекта очистки. Заметим, что при расчете очистных сооружений водоотведения коэффициент использования объема – отношение фактической продолжительности пребывания воды в сооружении к теоретической. Таким образом,  $K_{\text{сет}} = \frac{1}{\beta}$ , где

$\beta$  вычисляется по формуле (5.5). Эта условность в определении коэф-

коэффициентов использования объема не меняет физического смысла показателя, характеризующего гидравлические условия в сооружении. Увеличение коэффициента использования объема (его предельный максимум равен единице) в горизонтальных отстойниках достигается путем рассредоточенного отбора воды, в вертикальных – за счет нисходяще-восходящего движения воды, а в радиальных – периферийной подачей воды с отводом в центре отстойника. В последнем случае  $K_{\text{set}}$  увеличивается с 0,45 до 0,50–0,55. Такая реконструкция связана с перемонтированием трубопроводов для подачи и отведения воды из отстойника (рис. 6.2). Коэффициент использования объема влияет на условия седиментации. Увеличение удельной нагрузки связано с коэффициентом использования объема степенной зависимостью

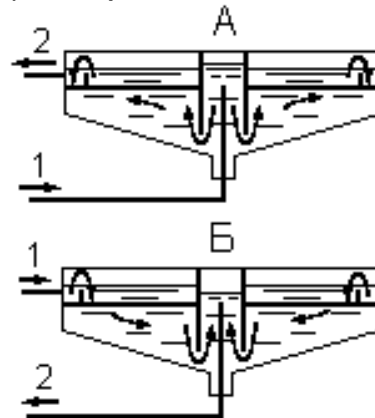


Рис. 6.2. Реконструкция радиального отстойника: А – до реконструкции; Б – после реконструкции; 1 – подача воды; 2 – отвод воды

$$q_{\text{уд}} \sim K_{\text{set}}^{2-p_2},$$

где  $p_2$  – показатель степени, влияющий на условия агломерации и осаждения взвесей, принимаемый по графику на рис. 2 [10].

Повышение седиментационных свойств взвешенных веществ достигается реконструкцией, предусматривающей преаэрацию. Преаэрация повышает эффект очистки по взвешенным веществам до 60–65 %, и позволяет уменьшить продолжительность отстаивания. Объем преаэраторов составляет 20–25 % от объема отстойников, при этом производительность последних после преаэрации увеличивается на 30–40 %. Таким образом, удельная производительность сооружений для механической очистки в м<sup>3</sup>/ч на один кубический метр объема увеличивается всего на 10–15 %. Смысл такой реконструкции заключается не только в увеличении производительности, но и в более глубокой механической очистке, благодаря чему достигается разгрузка аэротенков или биофильтров. Реконструкция предусматривает строительство преаэраторов, либо переоборудование отстойников с выделением части объема для преаэрации. Эффект преаэрации зависит от режима перемешивания сточной воды с активным илом. Градиент перемешивания должен составлять 50–60 (1/с), а число Кемпа – 50–70 тысяч. При необходимости следует увеличивать пропускную способность илопроводов первичных отстойников.

**Тонкослойные отстойники (полочные).** Производительность отстойников можно повысить, если перейти к тонкослойному отстаиванию.

Геометрические размеры и размещение полочных модулей в отстойниках обусловлены габаритами последних, а также условиями накопления осадка и работой скребковых механизмов.

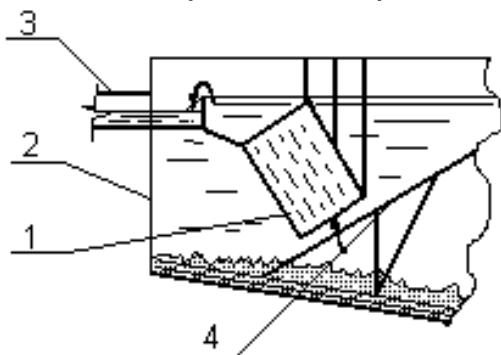


Рис. 6.3. Тонкослойные модули в радиальном отстойнике: 1 – модуль; 2 – корпус отстойника; 3 – отводящий лоток; 4 – ферма скребкового механизма

Радиальные отстойники оборудуют модулями, размещаемыми вдоль водосборных лотков (рис. 6.3). Иногда модули имеют форму многоканальных параллелепипедов шириной до 1–3 м. Блоки в плане образуют многоугольник, вписанный в окружность, образованную стенками отстойника. Высота полок (по живому сечению) принимается 130–150 мм и более. Угол наклона полок  $\alpha = 45\text{--}60^\circ$ , коэффициент использования объема  $K = 0,6\text{--}0,8$ .

Модули выполняются из тонколистовых пластмасс, алюминиевой фольги и других легких и стойких по отношению к сточной воде материалов. Крепление модулей должно давать возможность проводить их демонтаж и замену в случае повреждения или засорения.

При расчете тонкослойных модулей необходимо знать расчетную гидравлическую крупность, отвечающую требуемому эффекту очистки. Это значение определяется экспериментально при отстаивании в слое воды толщиной 100 мм. Ориентировочно можно определять гидравлическую крупность по зависимости

$$U_0 = \frac{h_1}{t_{\text{set}}} \alpha, \quad (6.2)$$

где  $h_1 = 500$  мм и  $t_{\text{set}}$  по табл. 30 [10];  $\alpha = 1,1\text{--}1,3$  – коэффициент, учитывающий, что слой воды на полке имеет меньшую толщину, чем 500 мм. Чем меньше толщина слоя воды, тем больше  $\alpha$ . Эта зависимость получена в предположении, что в тонком слое воды агломерация практически не происходит и  $p_2 = 1,0$ .

Принципы проектирования тонкослойных модулей рассмотрены в разд. 5 настоящего пособия.

Переоборудование первичных отстойников в тонкослойные увеличивает производительность в 1,5 раза при более глубокой очистке воды. Объем работ по реконструкции сравнительно с другими ее способами невелик, и этот метод может рассматриваться как оптимальный.

**Флотаторы.** Переоборудование первичных отстойников во флотаторы дает возможность увеличить производительность сооружений

в 1,5–2,0 раза и более при значительном улучшении качества воды. Во флотаторах эффект очистки по взвесям достигает 70 %, БПК снижается на 25–30 % и более, оптимизируются условия для последующей биологической очистки. Влажность осадка (после разрушения пенного продукта) составляет около 90 %.

При реконструкции первичных отстойников особенно эффективно сочетание методов флотации и биокоагуляции, в результате чего достигается повышение производительности в 1,5–2,0 раза, а снижение БПК<sub>5</sub> достигает 30–40 % [50].

Избыточный активный ил из вторичных отстойников смешивается со сточными водами после песколовок. Переоборудованные во флотаторы первичные отстойники работают в режиме рециркуляции.

Нормативы [10] рекомендуют разные способы флотации, но наиболее применима напорная с 40–50 % рециркуляцией. Пневматическая флотация рекомендуется при содержании взвешенных веществ в исходной воде менее 100 мг/л. При больших концентрациях условия эксплуатации флотаторов ухудшаются.

Нормативы для проектирования флотаторов приведены в [10].

Объем работ по реконструкции и переоборудованию отстойников во флотаторы относительно невелик, но стоимость эксплуатации повышается в связи с большим потреблением электроэнергии. В технико-экономических расчетах учитывается положительный эффект, достигаемый при улучшении качества очищенной воды и ее подготовке к последующей биологической очистке (предварительная аэрация), а также уменьшение объема осадков.

#### 6.2.2. Реконструкция сооружений для биологической очистки

При гидравлической перегрузке продолжительность пребывания воды в сооружениях уменьшается, и это негативно сказывается на результатах очистки. Компенсировать недостаточную продолжительность биологического процесса можно только за счет повышения его скорости. Установлено, что ускорение процесса достигается путем повышения концентрации микробиальной массы в биореакторе. Для этого необходимо увеличивать концентрацию активного ила либо его иммобилизовать, т.е. закреплять на носителях (поверхностях обрастания).

Одновременно должны разрешаться трудности, возникающие в связи с ухудшением условий кислородоснабжения аэробных микроорганизмов при их высокой концентрации.

**Аэротенки и вторичные отстойники.** Требуемая длительность аэрации иловой смеси в аэротенках обратно пропорциональна дозам активного ила. При дозах, превышающих 3 г/л, заметно ухудшается доступ кислорода и питательных веществ к клеткам, снижается их физиоло-

гическая активность. Это обстоятельство учитывается введением к значению принятой дозы ила поправочного коэффициента  $\alpha$ , тем меньше, чем больше доза. Увеличение дозы все же приводит к ускорению процесса и росту производительности аэротенка. Например, при увеличении дозы от 3 до 4 г/л длительность аэрации сокращается на 13 %, до 5 г/л – на 21 %, до 6 г/л – на 26 %.

При разделении иловой смеси во вторичных отстойниках значения коэффициентов  $\alpha$  принимаются по табл. 6.2.

Таблица 6.2

Значения коэффициента  $\alpha$  при разделении иловой смеси в отстойниках [25]

$\alpha_i$ БПК <sub>полн</sub> , мг/л	3	4	5
100	0,78	0,67	0,59
150	0,84	0,73	0,65
200	0,90	0,79	0,71

Во вторичных отстойниках активный ил находится в неблагоприятных условиях, так как испытывает кислородное голодание. Для улучшения состояния активного ила аэротенки могут дооборудоваться оксигенаторами – камерами, в которых иловая смесь насыщается кислородом воздуха. Для этого на выходе из аэротенка дырчатой перегородкой выделяется камера, рассчитанная на 5–10 минут пребывания иловой смеси. Отверстия в перегородке обеспечивают прохождение смеси со скоростью 0,4 м/с и менее. Оксигенатор оборудуется механической, струйной или эжекторной аэрацией с удельной производительностью 12–18 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> иловой смеси. В результате значение  $\alpha$  по табл. 6.1 увеличивается на 20–40 %.

При разделении иловой смеси не в отстойниках, а во флотаторах улучшается состояние клеток активного ила, условия их питания и кислородоснабжения, что приводит к относительному увеличению значений коэффициента  $\alpha$  (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Значения коэффициента  $\alpha$  при флотационном разделении иловой смеси

$\alpha_i$ БПК <sub>полн</sub> , мг/л	3	4	5	6	7	8
100	1,20	1,08	1,00	0,93	0,86	0,80
150	1,31	1,19	1,10	1,02	0,96	0,89
200	1,34	1,28	1,20	1,13	1,05	0,98

При высоких дозах активного ила ухудшаются условия его отделения



от воды отстаиванием, что характеризуется высокими значениями илового индекса  $I_i$  (более  $130 \text{ см}^3/\text{г}$ ).

Для нормальной работы вторичного отстойника необходим определенный режим рециркуляции активного ила, отвечающий как его дозе, так и нагрузке на активный ил  $q_i$ . В табл. 6.4 приводятся дозы активного ила, при которых иловый индекс находится в допустимых для работы отстойников пределах.

Таблица 6.4

Предельные дозы активного ила  $a_i$ , г/л

Коэффициент рециркуляции, $R_i$	Дозы активного ила								
$q_i$ , $\text{м}^3/\text{г} \cdot \text{сут}$	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8
600	1,8	2,0	2,2	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	3,2	3,4
500	2,4	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	3,3	3,5	3,7	4,0	4,2	4,7
400	<b>2,9</b>	3,2	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7	5,2	5,6
300	3,3	3,7	4,1	4,4	4,8	5,1	5,4	5,9	6,4

Большие значения коэффициентов рециркуляции, соответствующие повышенным дозам ила, и общая перегрузка сооружений требует реконструкции всего узла рециркуляции (трубопроводы, насосные установки) и вызывает дополнительную перегрузку вторичных отстойников.

Одновременно следует реконструировать систему подачи воздуха и воздухораспределения.

Известно, что системы крупно- и среднепузырчатой аэрации пригодны при низких дозах ила (не более  $2,1 \text{ г/л}$ ), мелкопузырчатой фильтросной – не более  $2,9 \text{ г/л}$ . При больших дозах рекомендуется заменить систему аэрации, применив в качестве воздухораспределителей пористые трубы «Экополимер» и «Полипор-А», пригодные при  $a_i = 5\text{--}6 \text{ г/л}$ . При таких же дозах возможна механическая, а при дозах до  $20 \text{ г/л}$  – эрлифтная и струйная аэрации.

С увеличением расходов сточной воды и доз активного ила возрастает потребление воздуха, что требует усиления воздуходувной станции.

При реконструкции системы аэрации следует иметь в виду, что удельный расход воздуха  $q_o$ ,  $\text{нм}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  сточной воды зависит от соотношения площади, занятой тонкопузырчатыми аэраторами, и общей площадью дна аэротенков  $\frac{f}{F}$  и особенно от БПК воды, поступающей на биологическую очистку.

Как следует из графика (рис. 6.4), удельный расход воздуха  $q_o$  резко возрастает при  $\frac{f}{F} < 0,3$ , а в интервале  $\frac{f}{F} = 0,5\text{--}0,3$  почти стабилен.

Увеличение БПК в очень большой степени повышает значение  $q_0$ . Последнее обстоятельство показывает, что существенное снижение БПК на стадии механической очистки (преаэрация, флотация, коагуляция) позволяет уменьшить затраты энергии на аэрацию, а иногда – избежать реконструкции воздуходушных станций.

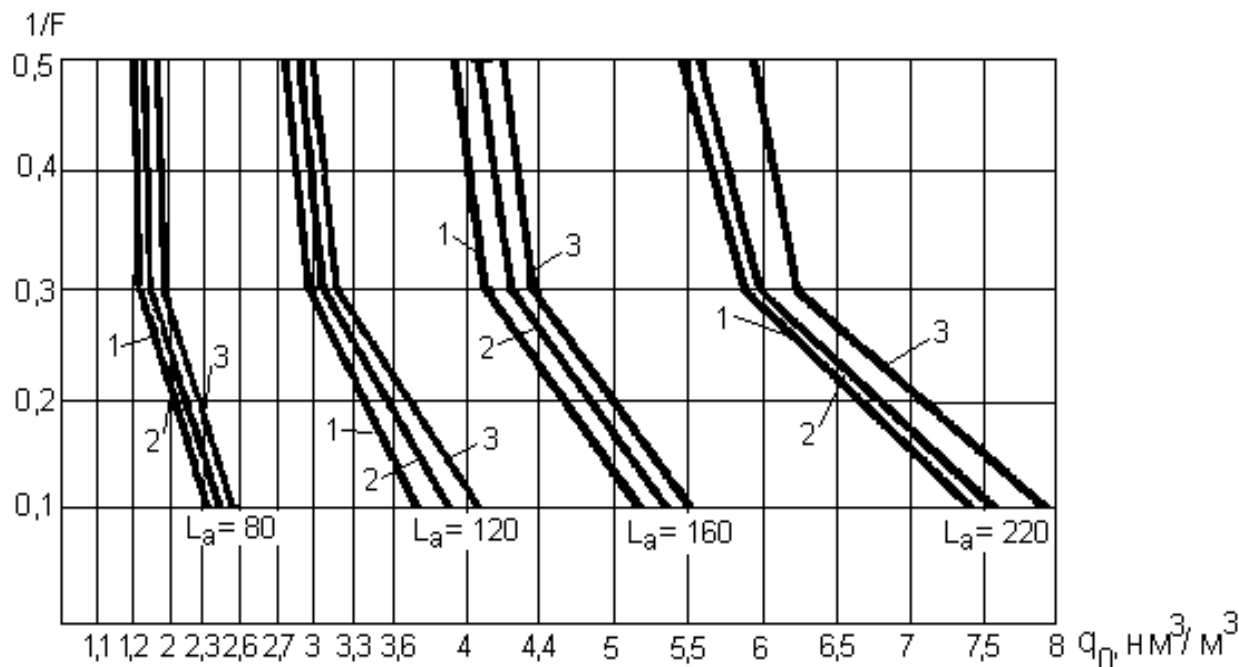


Рис. 6.4. Зависимость расхода воздуха на аэрацию от соотношения площадей  $f/F$  и температуры воды  $T$ : 1 –  $T = 10^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T = 14^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T = 20^\circ\text{C}$

Из-за ухудшения седиментационных свойств активного ила при его больших дозах возникают трудности в эксплуатации гидравлически перегруженных вторичных отстойников.

На разделение иловой смеси оказывает влияние режим перемешивания; оптимальные условия создаются при низкоградиентном перемешивании, когда  $G \sim 2$ ,  $1/\text{с}$ . Вместе с тем, в пределах большей части вместимости радиальных вторичных отстойников, градиент скорости превышает оптимальное значение в несколько раз (рис. 6.5, а).

Положительное влияние регулируемого перемешивания иловой смеси на ее разделение представлено на рис. 6.5, б. Если допустимое содержание активного ила в воде после вторичного отстойника, работающего без перемешивания ( $\alpha_t = 15$  мг/л), имеет место при значениях градиента скорости менее 5,  $1/\text{с}$ , то в случае перемешивания – около 10,  $1/\text{с}$ .

Оптимизация перемешивания достигается при оборудовании отстойников мешалками, представляющими собой стержни полукруглого сечения диаметрами 50–100 мм, которые закреплены на фермах илососов и погружены на всю глубину зоны разделения ила [24].

Седиментационные свойства активного ила улучшаются в случае

обработки иловой смеси коагулянтами дозами около 100 мг/л. Осаждение коагулированного активного ила происходит с повышенной интенсивностью, а коагулянт не ухудшает окислительной способности ила.

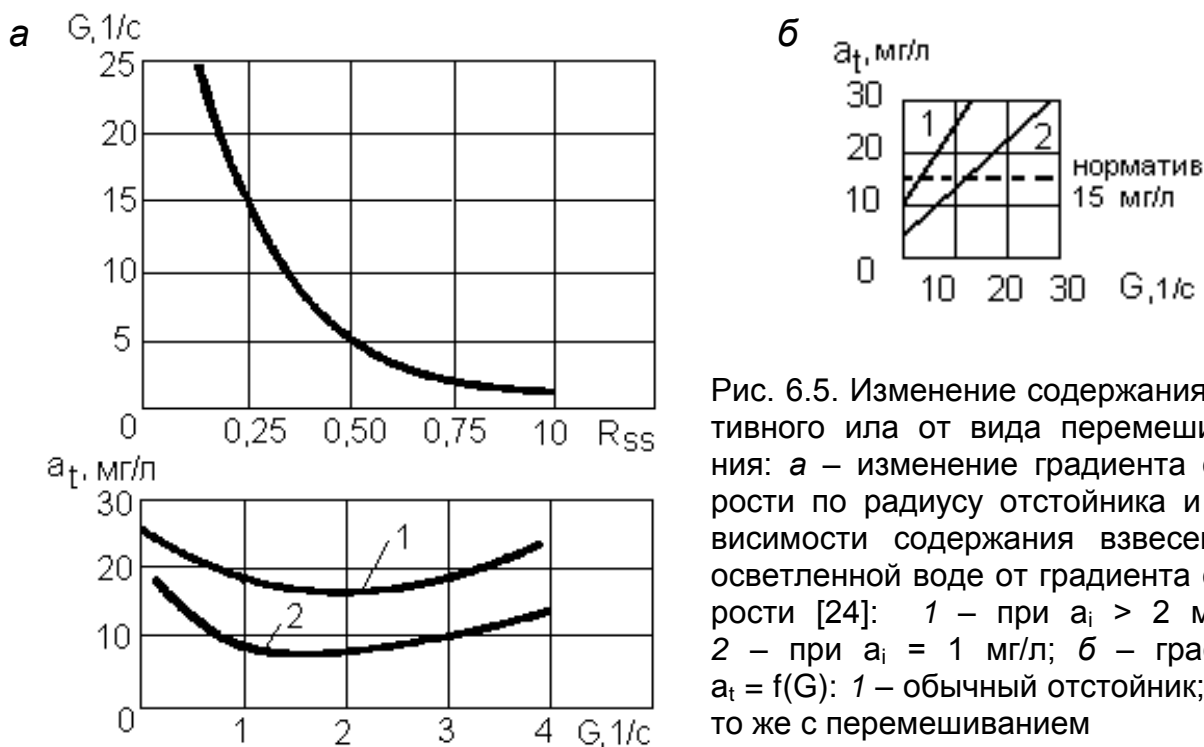


Рис. 6.5. Изменение содержания активного ила от вида перемешивания: а – изменение градиента скорости по радиусу отстойника и зависимости содержания взвесей в осветленной воде от градиента скорости [24]: 1 – при  $a_i > 2$  мг/л; 2 – при  $a_i = 1$  мг/л; б – график  $a_t = f(G)$ : 1 – обычный отстойник; 2 – то же с перемешиванием

Коагуляция иловой смеси (симультанное осаждение) хотя и дает положительный эффект, но требует тщательного обоснования, так как необходимо дооборудовать очистные сооружения реагентным хозяйством.

При увеличении расходов иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники, возможен вариант применения полочных модулей. Полки имеют высоту около 100 мм и рассчитываются, исходя из гидравлической крупности выделяемых хлопьев в зависимости от значения критерия  $a_i \cdot l_i$  по табл. 6.5. Чем больше значение критерия, тем хуже проходит осаждение и тем меньше гидравлическая крупность, которая должна приниматься в расчетах тонкослойных модулей.

Таблица 6.5

Гидравлическая крупность хлопьев активного ила  
при расчете тонкослойных модулей

$a_i \cdot l_i$ , $\text{см}^3/\text{г}$	100	200	300	400	500	600
$U_0$ , мм/с	2,5	1,5	0,8	0,5	0,3	0,1

Примечание. 1. При расчетах коэффициент использования объема принимается 0,6.

2. При определении значения критерия  $a_i \cdot l_i$ : доза ила  $a_i$ , г/л; иловый индекс  $l_i$ ,  $\text{см}^3/\text{л}$ .

Представляет интерес реконструкция с переоборудованием вторичных отстойников или других емкостей во флотаторы.

Для флотационного разделения иловой смеси применяется прямоточная схема напорной флотации. Продолжительность процесса и удельный расход нормального воздуха принимается по табл. 6.6.

Таблица 6.6

Параметры к расчету флотационного разделения активного ила

Параметры \ Продолжительность, мин.	40	50	60
Удельный расход воздуха в м <sup>3</sup> на кг активного ила	4	6	9
Содержание активного ила после разделения, мг/л	15	10	5

При расчете назначают: коэффициент использования объема флотационной камеры  $K_{fl} = 0,4-0,5$ ; давление в сатураторе 0,6–0,9 мПа; длительность насыщения 3–4 мин.

Применение для разделения иловой смеси флотаторов позволяет повысить дозы активного ила в аэротенке до 10–15 г/л. Разумеется, при этом необходимо усилить систему аэрации аэротенков.

На рис. 6.6 приводится схема флотационной камеры (илоотделитель), представляющей собой круглый в плане резервуар, внутри которого размещены два яруса цилиндрических и конических перегородок, которые предназначены для уменьшения вихреобразований и увеличения коэффициента использования объема сооружения.

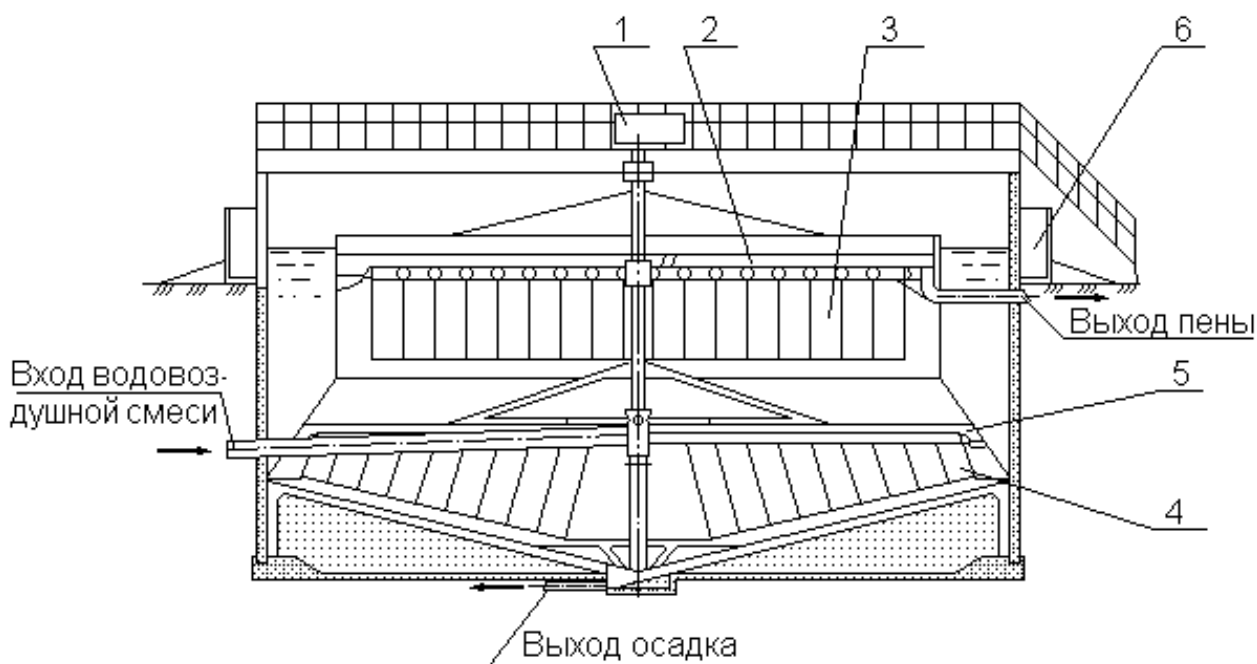


Рис. 6.6. Флотационный илоотделитель: 1 – двигатель; 2 – скребки для пены; 3 – цилиндрические перегородки; 4 – конические перегородки; 5 – дырчатый рас-

пределитель; 6 – лоток осветленной воды

Аэрированная иловая смесь из сатуратора поступает во вращающееся распределительное устройство, активный ил фракционируется в пену и удаляется пеногонным механизмом в отводящий лоток [37].

Помимо улучшения качества активного ила, о чем упоминалось выше, флотационное разделение иловой смеси имеет и другие важные преимущества: возможность снижения БПК и взвешенных веществ до 8–10 г/л и получение выделяемого ила при низкой влажности, около 97 %. Нетрудно подсчитать, что объем ила оказывается в 5–6 раз меньше выпадающего во вторичных отстойниках. Реконструкция включает дополнительный монтаж узла насыщения иловой смеси воздухом, установку насосного оборудования, прокладку дополнительных трубопроводов, подачу сжатого воздуха от компрессоров. Флотаторы являются энергоемкими установками.

**Биореакторы с иммобилизованной биомассой. Биореакторы МАКИСИ.** Реакторы конструкции Н.И. Куликова представляют собой камеру, где размещены металлические каркасы (контейнеры), к которым прикреплены синтетические ерши – носители иммобилизованного аэробного ила и гидробионтов. По опыту Макеевского инженерно-строительного института один кубический метр загрузки каркасов удерживает 5,5–6,0 кг биомассы. Сточная вода проходит через два–три последовательно расположенных каркаса и при этом подвергается глубокой биологической деструкции. Отмечено, что иммобилизация повышает скорость окисления сравнительно с аналогичным процессом в аэротенках в два–три раза.

На рис. 6.7 приведена схема биореактора МАКИСИ на базе реконструированного аэротенка. Из коридоров аэротенка удалена воздушораспределительная система и размещены каркасы с носителем. Реактор выполнен двухступенчатым. На дне смонтирована новая воздушораспределительная система, обеспечивающая аэрацию, циркуляцию воды с проходом через контейнеры и периодическую продувку носителей.

Расчетный объем контейнеров определяется по зависимости

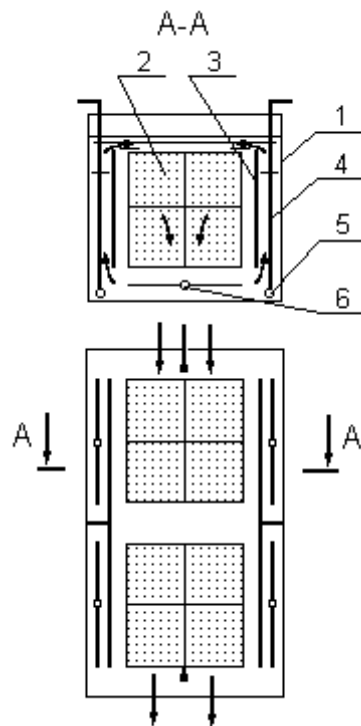


Рис. 6.7. Схема биореактора: 1 – корпус существующего аэротенка; 2 – каркас (контейнер) с носителем; 3 – щит; 4 – воздушный стояк; 5, 6 – воздушный коллектор

$$\Sigma W = \frac{(L_{en} - L_{ex}) q_w}{OM}, \quad (6.3)$$

где  $L_{en}; L_{ex}$  – БПК воды до и после осветления;  $OM$  – окислительная мощность  $\frac{\text{г} \cdot \text{БПК}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$

$$OM = \frac{\rho_{\max} \cdot a_i \cdot L_{ex}}{K_i + L_{en} \left( 1 + \frac{K_o}{C_o} \right)},$$

где обозначения – согласно [10].

Значения  $\Sigma W$  и  $OM$  рассчитываются отдельно для первой и второй ступеней. Методика расчета приведена в [26].

Интенсивность очистки в реакторах настолько велика, что в них можно направлять даже плохо осветленную на этапе механической очистки сточную воду, что облегчает задачи реконструкции первичных отстойников. В реакторах происходит частичная стабилизация ила, а его избыточное количество оказывается незначительным.

Переоборудование аэротенков в биореакторы целесообразно для станций малой и средней производительности. Объем работ по реконструкции относительно невелик.

**Биотенки.** Увеличение массы активного ила, вовлекаемого в процесс очистки, достигается путем иммобилизации на поверхностях неподвижной загрузки, размещаемой в коридорах реконструируемых аэротенков. В качестве загрузки целесообразно применять объемно плоскостные элементы из волокнистых пористых синтетических материалов, например, марки «Поливом – МТ» фирмы «Этек» (г. Калуга). Элементы изготавливаются заданной конфигурации и размеров и занимают до 40–60 % вместимости коридоров.

Переоборудование аэротенков в биотенки требует минимальных объемов работ.

Биореакторы, разработанные экологическим холдингом «Комплект экология», предназначены для реконструкции очистных сооружений большой производительности для повышения эффекта биологической очистки. Они позволяют очистить сточную воду от биогенных элементов, не требуют рециркуляции активного ила, а снижение количества образующегося при очистке избыточного ила сравнительно с аэротенками достигает 85–90 %.

В реконструируемых емкостях (коридоры аэротенков, горизонтальные отстойники и др.) устанавливаются перегородки, разделяющие емкость на несколько последовательно расположенных отсеков.

В отсеках размещается синтетический носитель им морилизованного активного ила. В каждом отсеке формируется специфический биоценоз, адаптированный к условиям на данном этапе биологической очистки.

Биоценоз включает микробиальную массу и организмы других трофических уровней. Последние, потребляя избыточно активный ил, уменьшают его количество.

Сточная вода при помощи перегородок и расположенных у дна мешалок проходит через слой носителя.

В первых камерах вода не аэрируется, и в ней поддерживаются анаэробные условия, в остальных размещены аэраторы, которые автоматически поддерживают оптимальные условия (концентрация кислорода, РН, окислительно-восстановительный потенциал).

**Биофильтры.** Гидравлическая перегрузка биофильтров (более 30 м<sup>3</sup>/сут на 1 м<sup>2</sup>) приводит к понижению эффекта и к размыву биологической пленки. Перемещение части пленки в толщу загрузки на глубину свыше 0,5–1,0 см ухудшает кислородоснабжение микроорганизмов. Главный путь реконструкции – замена щебеночной загрузки другим материалом, имеющим большую пористость и удельную поверхность. Применимы эффективные загрузки из пластмассы в виде блоков, перфорированные трубы диаметром до 50–100 мм, гофрированные листы асбестоцемента или синтетических материалов (плоскостная загрузка).

Характеристикой загрузки служит показатель Р, равный произведению пористости материала в процентах и его удельной поверхности в м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Значение Р принимается в пределах 8000–10000 и более. Так, для гофрированных полиэтиленовых листов Р = 8500–12000, для асбестоцементной листовой загрузки Р = 4800.

Эффективные загрузки обеспечивают окислительную способность в пределах 2,5–3,0 кг БПК на 1 м<sup>3</sup>/сут, имеют большую и хорошо вентилируемую поверхность и допускают повышенные гидравлические нагрузки, в 1,5 и более раз превышающие те, которые принимаются для биофильтров, загруженных щебнем.

Движение сточной воды на поверхности плоскостной загрузки должно быть пленочным, что возможно при поддержании определенного минимума гидравлической нагрузки. При недостаточных расходах сточных вод оптимальные условия создаются путем рециркуляции.

Удельная гидравлическая нагрузка, м<sup>3</sup>/сут·м<sup>2</sup>, определяется по зависимости

$$q_{Bf} = \frac{0,38 P H_{Bf} K_T}{(2,18 - lq \cdot L_{ex}) L_{mix}}, \quad (6.4)$$

где  $H_{Bf}$  = 3...4 м – толщина слоя загрузки;  $K_T = 0,2 \cdot 0,47^{T-20}$  – температурный коэффициент; Т – температура воды, °С;  $L_{ex}$  – БПК<sub>полн</sub> воды по-

сле очистки;  $L_{\text{mix}} = \frac{L_{\text{en}} + K_{\text{rc}} L_{\text{ex}}}{K_{\text{rc}} + 1}$ ;  $L_{\text{en}}$  – БПК<sub>полн.</sub> исходной воды;  $K_{\text{rc}} = 0,05–0,1$  – коэффициент рециркуляции (принимается);  $P$  – см. выше.

**Пример 6.1.** Определить необходимую удельную гидравлическую нагрузку на биофильтр с полиэтиленовой листовой загрузкой, если  $P = 8000$ ,  $H_{\text{bf}} = 4,0$  м;  $L_{\text{en}} = 140$  мг/л;  $L_{\text{ex}} = 15$  мг/л;  $K_{\text{rc}} = 0,1$ ;  $T = 10$  °С.

Решение:

1. Определяем  $L_{\text{mix}}$ :

$$L_{\text{mix}} = \frac{140 + 0,1 \cdot 15}{1,0 + 0,1} = 132 \text{ мг/л.}$$

2. Определяем  $K_T$ :

$$K_T = 0,2 \cdot 1 \cdot 0,47^{10-20} = 0,126.$$

3. Определяем  $q_{\text{bf}}$ :

$$q_{\text{bf}} = \frac{0,38 \cdot 8000 \cdot 4,0 \cdot 0,126}{(2,18 - \lg 15) 132} = 24 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2.$$

Как следует из табл. 38 [10], при такой нагрузке в высокопогружаемом биофильтре со щебеночной загрузкой нельзя получить требуемую степень очистки.

Минимальное значение гидравлической нагрузки ограничено условием поддержания пленочного характера движения воды на поверхности загрузочного материала. В необходимых случаях минимальная нагрузка поддерживается за счет рециркуляции.

Биофильтры с плоскостной загрузкой не нуждаются в искусственной вентиляции, и при реконструкции аэрофильтров вентиляционные установки демонтируются, а энергоемкость очистки снижается. Объем работ при реконструкции включает в основном только замену загрузки.

### 6.3. Реконструкция очистных сооружений при изменении требований к качеству очистки

#### 6.3.1. Общие положения

Повышение первоначальных требований к качеству очистки объясняется ростом загрязненности водных объектов – приемников сточных вод.

В результате возникает необходимость в дооборудовании существующих сооружений блоком доочистки для дополнительного снижения содержания БПК, взвешенных веществ, а иногда – для удаления биогенных примесей (азота и фосфора).

В ряде случаев возросшие требования к качеству очистки удаётся



разрешить реконструкцией существующих очистных сооружений.

### 6.3.2. Реконструкция с целью дополнительного снижения БПК и содержания взвешенных веществ

Как отмечалось, при базовой технологии очистки городских сточных вод происходит снижение БПК<sub>полн</sub> и содержания взвесей до 15 мг/л, Фильтры доочистки позволяют очистить воду до 6–10 мг/л, а пруды доочистки – до 3–5 мг/л.

Качество очищенной воды обусловлено, главным образом, работой сооружений для биологической очистки. Снижение БПК зависит от полноты и длительности контакта водных загрязнений с микробиальным биоценозом и от его возраста. Напомним, что возрастом считается продолжительность цикла, в течение которого происходит полная смена микробиальной массы. С увеличением возраста снижается допустимая нагрузка на биомассу в мг БПК на грамм беззольной части ее вещества за сутки, но расширяется спектр питания клеток, и это повышает глубину очистки.

Аэротенки продленной аэрации (возраст ила 15–20 суток) снижают БПК сточной воды до 10 мг/л и менее. Аэротенки для комплексной очистки воды, включающей удаление биогенных веществ, работают при возрасте ила до 20–25 суток, а БПК<sub>5</sub> очищенной воды не превышает 3 мг/л (см. ниже). По [10] аэротенки проектируются с учетом возраста активного ила в пределах 3–7 суток.

Содержание взвесей в очищенной воде зависит от работы сооружений для разделения иловой смеси – вторичных отстойников или флотаторов.

Многоступенчатая биологическая очистка позволяет снизить БПК до 10 мг/л и менее (6–7 мг/л) за счет удлинения процесса, увеличения массы микробиального биоценоза, вовлеченного в процесс, и за счет различий в видах микроорганизмов и в возрасте биомассы, на разных ступенях установки.

На рис. 6.8 представлено комбинированное очистное сооружение (КС), предложенное РНИИ АКХ. Комбинированное сооружение состоит из последовательно соединенных биофильтра и аэротенка-отстойника. Биофильтр с плоскостной загрузкой из асбестоцементных листов, аэротенк оборудован системой струйной аэрации.

Технологическая схема КС предусматривает подачу воды из первичных отстойников в камеру смешения, куда поступает ил из аэротенка-отстойника; перекачку смеси на биофильтр; поступление частично очищенной в биофильтре смеси в аэротенк по аэрационным колоннам. Предполагается, что эффект очистки в биофильтре составляет 50–70 %; после аэротенка общий эффект очистки по БПК возрастает до 95–98 %.

Расчет установки КС приведен в [26].

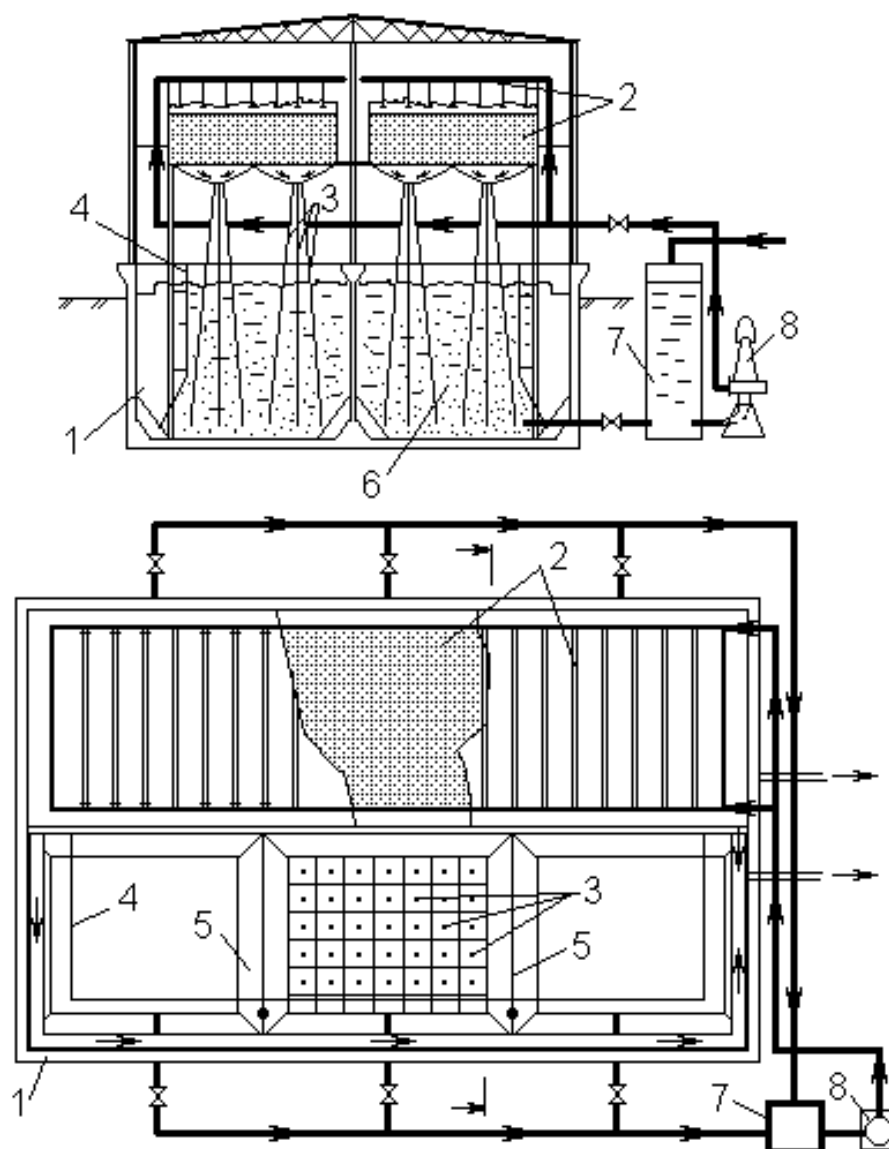


Рис. 6.8. Схема реконструкции аэротенка: 1 – емкость аэротенка; 2 – биофильтр с системой орошения; 3 – аэрационные колонны; 5 – валики; 6 – аэрационная зона; 7 – смеситель; 8 – насос

В установки КС могут быть переоборудованы многие резервные или бездействующие сооружения, входящие в состав станции очистки: отстойники, секции аэротенков, резервуары илоуплотнителей, корпуса биофильтров. Эти емкости переоборудуются в аэротенки-отстойники, а первая ступень установки – биофильтр – монтируется над аэротенком на опорах. Для предотвращения образования застойных зон в аэротенках конфигурация переоборудуемого под аэротенк резервуара изменяется путем устройства откосов и валиков. Установки КС имеют ряд дополнительных преимуществ: переход на струйную аэрацию сокращает затраты электроэнергии, повыша-

ется безотказность, а устройство шатра над биофильтром создает предпосылки к экологически чистому режиму работы [30].

Глубокая биологическая очистка достигается при использовании высокопроизводительных аэротенков с флотационным разделением иловой смеси, работающих с высокими дозами активного ила. При БПК исходной воды перед аэротенком 100 мг/л и при дозах активного ила 3,5 и 6 г/л очищенная вода имеет БПК 15,10 и 7–8 мг/л соответственно. Если БПК исходной воды 150 мг/л, то такие же значения БПК очищенной воды получают при дозах активного ила 4,6 и 7 г/л.

Переоборудование аэротенков в биотенки путем размещения в проточной части каркасов – носителей иммобилизованного активного ила увеличивает массу последнего и его возраст. В результате качество очищенной воды повышается. После такого переоборудования очистных сооружений на ст. Мылки (ДВЖД) БПК<sub>5</sub> в процессе очистки снизилось со 100 мг/л до 3 мг/л.

Аналогичный эффект дает переоборудование аэротенков в биореакторы МАКИСИ.

### 6.3.3. Реконструкция для очистки от биогенных веществ

Обычно нитрификация и денитрификация осуществляется последовательно в сооружениях типа аэротенков, расположенных после вторичных отстойников. В нитрификаторах создаются аэробные условия (содержание кислорода около 2,5 мг/л и более), в денитрификаторах – анаэробные (содержание кислорода 0,2–1,0 мг/л).

Применение современных типов тонкопузырчатых аэраторов, например фирмы «Экополимер» или «Этек», позволяет повысить эффект нитрификации и очистки воды от аммонийного азота на 20–30 % сравнительно с фильтросными пластинами.

Современная технология предусматривает одновременную биологическую очистку и удаление азота и фосфора в одном сооружении, в котором создаются аэрируемые и неаэрируемые зоны. В последних содержание кислорода ниже 1 мг/л, и возникают анаэробные условия. Такая технология пригодна для сточной воды при невысоких значениях БПК (в пределах около 100 мг/л).

В сооружении культивируется активный ил, возраст которого составляет 15–20 суток; микробная масса включает нитрифицирующие и денитрифицирующие микроорганизмы, а также микробы полифосфатной группы, относящиеся к анаэробам.

На первом этапе иловая смесь поступает в анаэробную зону, где под действием микроорганизмов происходит денитрификация нитритов и нитратов, первичное разрушение органики с образованием летучих жирных кислот, служащих субстратом для полифосфатных микробов, что в после-

дующей аэробной зоне приводит к биологическому удалению фосфора.

Академик С.Б. Яковлев [50] отмечает, что при резкой смене анаэробных условий микроорганизмы поглощают фосфор в количествах, превышающих их потребность в этом элементе. Концентрация фосфора в активном иле повышается до 5–6 % от массы сухого вещества, а в воде снижается до 0,5–1,0 мг/л [51].

В аэробной зоне сооружения осуществляется биохимическая очистка воды со снижением БПК, нитрификация, удаление фосфора. Наличие «старого» активного ила позволяет снизить БПК<sub>5</sub> до 5–10 мг/л и менее.

Технологические схемы реконструкции, отвечающие особенностям изложенного процесса, разнообразны (рис. 6.9).

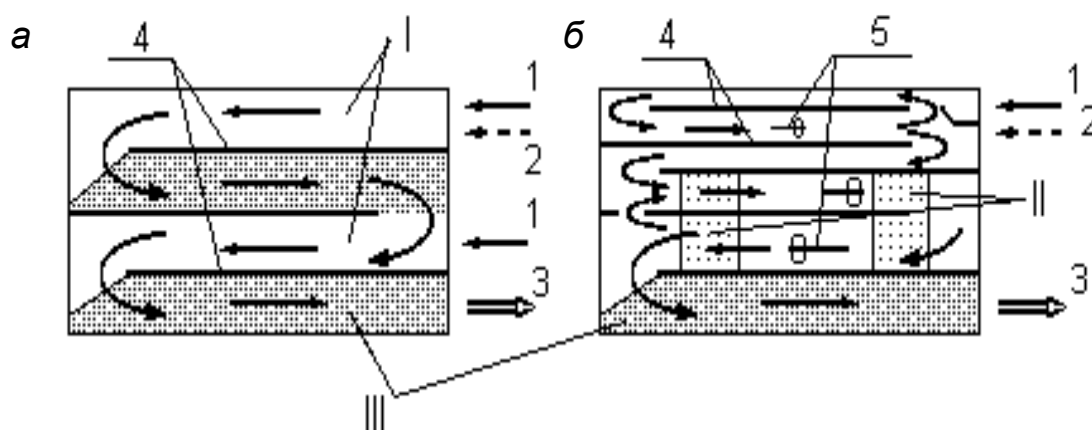


Рис. 6.9. Схема реконструкции аэротенков: I – анаэробная зона; II – зона периодической аэрации; III – аэробная зона; 1 – подача сточной воды; 2 – подача активного ила; 3 – отведение иловой смеси во вторичные отстойники; 4 – дополнительные перегородки; 5 – мешалки

На рис. 6.9, а – вариант переоборудования двухкоридорного аэротенка. В каждом коридоре устанавливается дополнительная перегородка, образующая аэробную зону. Площадь живого сечения потока в этой зоне уменьшена для повышения скорости и предотвращения разделения иловой смеси. Дополнительно смесь перемешивается сжатым воздухом, причем, интенсивность барботажа принимается минимальной для сохранения анаэробных условий.

Подача сточной воды из первичных отстойников производится в двух точках (по 50 % расхода) либо только в первый коридор.

Вариант переоборудования четырехкоридорного аэротенка приведен на рис. 6.9, б. При реконструкции существующая перегородка между вторым и третьим коридорами частично демонтируется, а в первом – размещаются две дополнительные перегородки, образующие в анаэробной зоне проточные каналы малого сечения. Помимо анаэробной и аэробной зон предусмотрены зоны периодической аэрации, в которых

могут попеременно создаваться аэробные и анаэробные условия.

Движение иловой смеси в реакторе поддерживается при помощи погруженных мешалок и носит «карусельный» характер с многократной внутренней рециркуляцией (до пятикратной).

Продолжительность пребывания иловой смеси в сооружениях составляет 12–15 часов, в том числе до 70–80 % времени – в аэробных зонах. При расчетах коэффициент рециркуляции ила принимается равным 1.

Одно из преимуществ указанной технологии – сокращение потребления воздуха, так как при восстановлении азота на стадии денитрификации выделяется кислород (до 40 % и более от затраченного на нитрификацию).

Применение новой технологии требует увеличения вместимости существующих сооружений для биологической очистки всего на 20–30 % и обеспечивает глубокую очистку, в том числе и от биогенных примесей.

Результаты применения технологии на некоторых станциях аэрации г. Москвы приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Средние показатели результатов очистки сточных вод  
на станциях аэрации г. Москвы

Показатель, мг/л	Курьяновская		Люберецкая		Зеленоградская	
	поступ.	очищен.	поступ.	очищен.	поступ.	очищен.
Взвешенные вещества	191	11,9	132	7,2	174	2,8
БПК <sub>5</sub>	140	9	101	4,2	147	1,8
Азот общий по N	25	17	22	12,6	–	–
Азот аммон. солей по N	22,1	7,7	18,7	6,2	25	1,8
Азот нитритов по N	–	0,48	0,008	0,25	0,08	0,17
Азот нитратов по N	–	7	0,088	9,2	0,2	15,41
Фосфор общ. по P	3,4	2,6	2,0	2,8	5,06	3,86
Фосфаты по P	1,9	1,3	4,3	2,1	2,5	2,9

## 6.4. Реконструкция илового хозяйства очистных сооружений

### 6.4.1. Общие положения

Гидравлическая перегрузка очистных сооружений приводит к увеличению количества образующихся осадков и к соответствующей перегрузке всех элементов илового хозяйства: илопроводов, насосных станций, установок для стабилизации и обезвоживания ила, площадок для его депонирования.

В этой связи может потребоваться замена иловых насосов или эрлифтов, принятие мер по ускорению процессов стабилизации и по улучшению водоотдающих свойств осадков. В этом, а также и во всех других случаях, заслуживают внимания мероприятия, направленные на

уменьшение площадей, занимаемых иловыми площадками.

Иловые площадки следует рассматривать как экологически опасные объекты, при эксплуатации которых неизбежно загрязняются воздушная среда, почва и грунтовые воды. Площадки занимают большие территории. Так, в природно-климатических условиях г. Хабаровска площадь иловых площадок, приходящаяся на одного человека, составляет 0,6–1,0 м<sup>2</sup>.

#### 6.4.2. Реконструкция аэробных стабилизаторов

Процесс аэробной стабилизации обусловлен двумя главными факторами: температурой осадка и продолжительностью аэрации. По американским данным оптимальное значение произведения продолжительности стабилизации и температуры осадков составляет 70–80 сутко-градусов [28].

Возраст активного ила влияет на условия стабилизации. При возрасте 4 суток она протекает на 22 % быстрее, чем при 5. Использование в процессах глубокой биологической очистки старого активного ила – фактор, который может вызвать перегрузку существующих аэробных стабилизаторов.

В стабилизаторе минерализуется 18–20 % разлагаемых веществ, входящих в состав осадков. Процесс стабилизации отвечает состоянию клеток активного ила на стадии автолиза, т.е. отмирания. Поэтому, совместная стабилизация активного и сырого илов удлинняет процесс. В отдельных случаях, при реконструкции целесообразно разделить эти два вида ила и стабилизировать сырой ил в анаэробных условиях. Такая реконструкция отличается сложностью и связана со строительством дополнительных коммуникаций, перегнивателей и т.д.

Повышение концентрации сухого вещества в осадке интенсифицирует его окисление, но затрудняет кислородоснабжение клеток, что следует рассматривать как лимитирующее процесс обстоятельство.

Задача решается заменой пневматической аэрации механической с подачей до 6 кг воздуха на 1 м<sup>3</sup> осадка.

Применение уплотнителей активного ила перед стабилизацией многократно уменьшает необходимую вместимость аэробных стабилизаторов. Как известно, применение гравитационных уплотнителей снижает влажность активного ила до 98–97,3 %, а при переоборудовании вторичных отстойников во флотаторы влажность пенного продукта равна 95 %. Таким образом, объем активного ила уменьшается в 4–10 раз.

Ускорение стабилизации достигается за счет повышения температуры ила. Константа, учитывающая влияние температуры на продолжительность стабилизации, при температуре + 20 °С равна 10, а при 30 °С – 25, т.е. возрастает в 2,5 раза. Реконструкция стабилизаторов, способных

обрабатывать сгущенный ил, включает такие работы, как строительство уплотнителей, прокладку соответствующих коммуникаций, установку дополнительных иловых насосов, оборудование существующих стабилизаторов механическими аэраторами.

В работе [45] рассматривается схема реконструкции, согласно которой предусмотрено 100 %-ное использование избыточного активного ила. Первичные отстойники не имеют зоны уплотнения осадка, которые непрерывно откачивается в илоуплотнители. Смесь сырого и активного ила уплотняется до 94 %, т.е. ее объем уменьшается почти в 15 раз. Иловая вода возвращается в первичные отстойники, а уплотненный осадок направляется на стабилизацию. В результате такой реконструкции достигается значительная разгрузка илового хозяйства и стабилизаторов.

### 6.5. Реконструкция иловых площадок

Как известно, иловые площадки предназначены для обезвоживания осадков, влажность которых может быть понижена приблизительно до 80–82 %.

Предполагается, что процесс обезвоживания включает сушку (испарение влаги), а для площадок с дренажами или имеющих фильтрующее основание – дополнительное дренирование подыловой воды. Сушка обусловлена климатическими условиями: влажностью воздуха, количеством солнечных дней, проветриванием территории; дренирование ограничено кальматацией дренажей.

Часть воды, входящей в состав осадков, относится к слабо связанной и легко отделяется, например, при отстаивании (гравийное уплотнение). Способность осадка легко отдавать воду зависит от его удельного сопротивления и увеличивается с уменьшением последнего.

На рис. 6.10 приведены результаты экспериментов по гравитационному уплотнению анаэробно сброженных осадков из метатенков Курьяновской станции аэрации г. Москвы [41]. Осадки имели первоначальную влажность 97 % и большое удельное сопротивление.

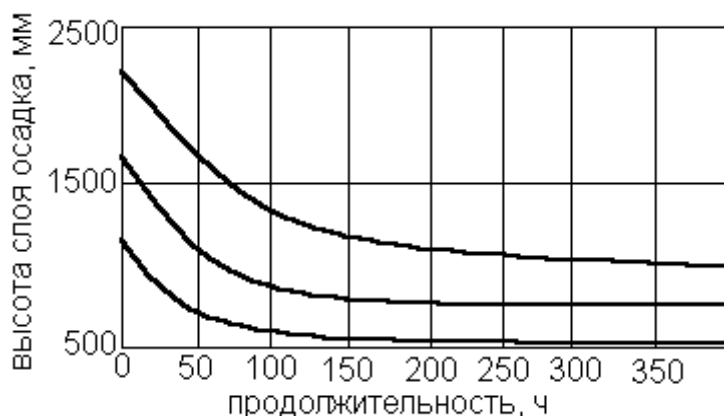


Рис. 6.10. Изменение высоты осадка при уплотнении при разной высоте слоя [41]

Из графика следует, что отстаивание осадков в течение 100–200 часов приводит к снижению влажности до 94 %, а объемов – вдвое. С увеличением толщины слоя налива эффективность гравитационного уплотнения повышается, что подтверждает идею профессора С.М. Шифрина, которая положена в основу конструкции иловых площадок-уплотнителей.

Уменьшение удельного сопротивления осадков достигается химическим кондиционированием, задача которого заключается в флокуляции и иммобилизации коллоидальных и наиболее мелких грубодисперсных частиц. Кондиционирование предусматривает обработку осадка перед напуском на площадки катионовыми флокулянтами и коагулянтами, например, хлорным железом. Для кондиционирования может быть использован коагулянт, восстанавливаемый из осадков и промывных вод фильтров водопроводных станций.

По опыту США, кондиционирование позволяет снизить продолжительность обезвоживания осадков в 2–3 раза, т.е. соответственно уменьшить удельную площадь иловых площадок [28]. Заметим, что при кондиционировании уменьшается загрязнение подыловой воды и увеличивается безотказность дренарующих элементов площадок. Дозы реагентов можно ориентировочно принимать по п. 8.377 [10]. Дозы флокулянтов принимают около 2–3 % от массы сухого вещества осадка. Реконструкция, предусматривающая кондиционирование осадков, включает создание соответствующего реагентного хозяйства, установку смесителей реагентов с илом и другого оборудования.

Опыт эксплуатации свидетельствует, что дренажные системы площадок работают крайне неэффективно, так как обычно оказываются заиленными.

В [29] приводится описание технологии обработки осадков перед иловыми площадками на очистных сооружениях г. Харькова. Она заключается в насыщении осадка воздухом под повышенным давлением. В результате флотационного эффекта, возникающего при заливе карты осадком, происходит его разделение с образованием подыловой воды, свободной от грубодисперсных примесей, что уменьшает кольматацию дренажей. Характеристики процесса работы площадки по указанной технологии приведены в табл. 6.8 и 6.9.

Таблица 6.8

Влияние давления насыщения  
на удельную нагрузку (время насыщения 2 минуты)

Показатель	Давление насыщения, мПа					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Нагрузка удельная, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> год	1,2	2,2	3,8	3,85	3,90	3,95



Таблица 6.9

Влияние продолжительности насыщения  
на удельную нагрузку при давлении 0,3 мПа

Показатель	Продолжительность, мин				
	1	2	3,5	5	7
Удельная нагрузка, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> год	2,2	3,8	3,85	3,90	4,00

Как следует из табл. 6.8 и 6.9, насыщение осадка воздухом при давлении 0,3 мПа в течение 2–4 минут позволяет повысить удельную нагрузку, а площадь уменьшить в 3–3,5 раза.

Реконструкция по указанному методу включает размещение вблизи иловых площадок блока насыщения осадка воздухом: сатураторы, насосы, сборный резервуар для осадка, компрессоры и ресиверы.

Осадок, неравномерно поступающий в систему илоудаления, направляется в иловый резервуар-усреднитель расхода. При заливе карт осадок насосами подается в сатураторы и из них поступает в разводящую сеть. На выходе из сатураторов установлены задвижки для поддержания в сатураторах требуемого давления.

Интенсифицировать сушку осадков и одновременно улучшить их экологические и санитарно-гигиенические характеристики можно при устройстве над площадками полупрозрачного покрытия из пленки (по типу теплиц) с системами вытяжной вентиляции и контроля запаха. Покрытия устраняют влияние такого негативного фактора, как дожди, а вентиляция обеспечивает устойчивую сушку. В холодный период года покрытия над частью карт иловых площадок снимаются, и они используются как площадки намораживания. По некоторым опытным данным удельная нагрузка при сушке осадков из метантенков в крытых иловых площадках составляет 9–10 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год, что в 4,5–5,0 раз больше, чем для открытых площадок при климатическом коэффициенте равном единице [10].

Соответствующее сокращение площади территории площадок может окупить дополнительные расходы по реконструкции, не говоря уже о достигаемом экологическом эффекте. Крытые площадки особенно рекомендуются для объектов малой и средней производительности, расположенных в районах с влажным и прохладным летом или частыми дождями.

Радикальное сокращение площадей, занимаемых иловыми площадками, достигается предварительным обезвоживанием осадков на ленточных сгустителях. Сгустители используют принцип выделения воды из сфлуккулированного осадка под действием силы тяжести. Для предварительного обезвоживания осадков применимы также ленточные пресс-транспортеры, например, ПТГ-250 и ПТГ-300 (рис. 6.11).

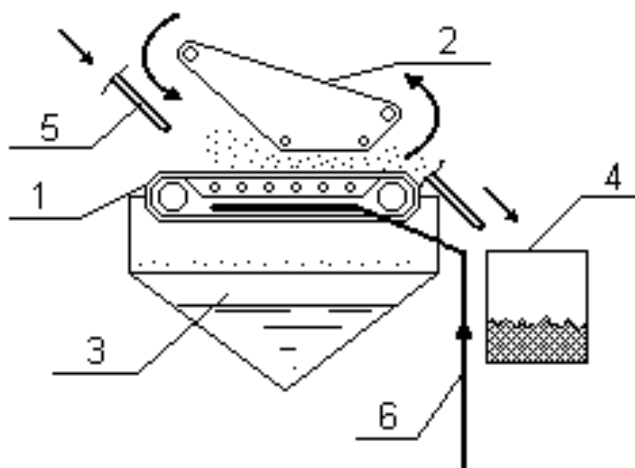


Рис. 6.11. Горизонтальный ленточный пресс: 1 – фильтрующая лента; 2 – прижимная лента; 3 – сборник фильтрата; 4 – сборник осадка; 5 – подача осадка; 6 – подача промывной воды

После выделения слабо связанной воды объем осадков сокращается в несколько раз, по данным [34] – в 10 раз. Поскольку осадки будут содержать только связанную воду, отпадает необходимость в дренажах.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назвать основные мероприятия, улучшающие работу первичных отстойников.
2. Регулированием каких параметров тонкослойных модулей достигается наибольший эффект очистки в отстойниках?
3. Что дает переоборудование первичных отстойников во флотаторы?
4. Где, с какой целью устанавливается оксигенатор?
5. Каковы особенности устройства и эффективность различных видов аэрации?
6. Что дает переоборудование вторичных отстойников во флотаторы?
7. Назвать особенности устройства и работы биореакторов МАКИСИ.
8. Перечислить основные направления интенсификации работы биофильтров.
9. Каким путем достигается глубокая очистка сточных вод по БПК со взвешенным веществом?
10. Объяснить технологические схемы реконструкции по очистке сточных вод от биогенных веществ.
11. Каковы пути повышения эффекта стабилизации ила?
12. Перечислить методы обезвоживания осадков и повышения их эффективности.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Реконструкция – эффективный способ усиления и усовершенствования объектов для повышения их производительности и улучшения качества эксплуатации. При реконструкции реализуются скрытые и неиспользуемые производственные возможности объектов. Объекты, входящие в системы водоснабжения и водоотведения, технологически связаны, и часто реконструкция носит не локальный, относящийся только к данному объекту, характер, а выполняется в интересах всей системы.

При реконструкции предусматривается выявление лимитирующих элементов, ограничивающих перевод объекта на требуемый производственный режим. Если установлены причины, по которым элемент оказался лимитирующим, пути решения задачи конкретизируются и сужаются. Это в достаточной степени иллюстрируется примерами, приводимыми в настоящей работе.

Проектное решение по реконструкции должно базироваться на знании закономерностей функционирования того или другого объекта. Необходимые технологические расчеты выполняются по общеизвестным методикам, согласно действующим нормативам. Проектирование должно быть многовариантным, с технико-экономическим сравнением и обоснованием оптимального решения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Образовский, А.С. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А.С. Образовский, Н.В. Ереснов, В.Н. Ереснов и др.; Под ред. К.А. Михайлова, А.С. Образовского. – М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.
2. Плотников, Н.А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н.А. Плотников, В.С. Алексеев. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
3. СНиП 2.04.02.-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстрой России, 1997.
4. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев: – 2-е изд., переаб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
5. Порядин, А.Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов / А.Ф. Порядин. – М.: Стройиздат, 1988. – 182 с.
6. Кожин, И.В. Наладка и интенсификация работы городских систем подачи и распределения воды / И.В. Кожин, В.В. Колесов, П.С. Майзельс и др. – М.: Стройиздат, 1978. – 109 с.
7. Казанцев, Б.К. Реконструкция систем подачи и распределения воды / Б.К. Казанцев, Н.Н. Беляев, В.В. Колесов // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 6. – С. 22–23.
8. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – 3-е изд. Перераб. и доп. – Л.: Стройиздат., Ленингр. отделение, 1986. – 440 с.
9. Яковлев, С.В. Регулируемые канализационные системы / С.В. Яковлев, В.А. Загорский, А.Н. Пахомов, В.И. Миланичев // Водоснабжение и сантехника. – 1998. – № 9. – С. 13–15.
10. СНиП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
11. Лукиных, А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. Изд. 4-е, доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 159 с.
12. Балыгин, В.В. Обеспечение надежности работы водозаборных сооружений / В.В. Балыгин, С. К. Станков, И.Д. Козлов, В.А. Кочетков // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 3. – С. 29–30.
13. Сааринен, Р. Комплексные насосные станции фирмы «Сарлин» / Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантехника. – 1995. – № 27. – С. 25–27.
14. Гумен, С.Г. Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и фирмы «Сарлин» в реконструкции канализационных насосных станций / С.Г. Гумен, Б.В. Васильев, Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантех-

ника. – 1999. – № 26. – С. 39–40.

15. Березин, С. Насосные станции с погружными насосами фирмы «Flygt» / С. Березин // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 21.

16. Митянин, В.М. Наладка и эксплуатация очистных сооружений водопровода в Сибири / В.М. Митянин. – М.: Ц. П. НТО коммунального хозяйства и бытового обслуживания, 1983. – 88 с.

17. Рабинович, Г.Р. Проектные решения станции водоподготовки с применением озонирования и адсорбции / Г.Р. Рабинович, Е.А. Беляева // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 6. – С. 8–11.

18. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: Учеб. для вузов / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов:– М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

19. Блувштейн, М.М. Повышение эффективности очистных сооружений водопровода / М.М. Блувштейн. – М.: Стройиздат, 1977. – 177 с.

20. Рудник, В.П. Эксплуатация систем водоснабжения / В.П. Рудник, П.М. Петимко, В.Д. Семенюк, Ю.С. Сергеев. – Киев: Будівельник, 1983. – 126 с.

21. Орлов, В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений / В.О. Орлов, Б.И. Шевчук. – Киев: Будівельник, 1989. – 126 с.

22. Технические указания на проектирование, монтаж и эксплуатацию флотационных установок для осветления природных вод. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1979. – 27 с.

23. Рекомендации на применение технологии очистки вод двухступенчатым фильтрованием. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1983. – 24 с.

24. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1996. – 591 с.

25. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.

26. Воловник, Г.И. Технологические расчеты многофункциональных установок для очистки городских сточных вод: Методические указания / Г.И. Воловник, М.И. Коробко. – Хабаровск: ДВГУПС, 1995. – 27 с.

27. Бутко, А.В. Применение воздушного перемешивания в процессах смешения и хлопьеобразования / А.В. Бутко, В.А. Михайлов, М.Ю. Баранов и др. // Водоснабжение и сантехника. – 1995. – № 27. – С. 20–22.

28. Обработка и удаление осадков сточных вод. В 2 т. Т. 1: Обработка осадков. Пер. с англ. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой, И.Х. Заена. – М.: Стройиздат, 1985. – 237 с.

29. Есин, А.М. Совершенствование технологии обработки осадков городских сточных вод / А.М. Есин // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 2. – С. 22–23.

30. Колесников, В.П. Новая технология, основанная на реконструкции очистных сооружений / В.П. Колесников, Е.В. Вильсон, В.Д. Климухин // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1997. – № 6.
31. Ищенко, И.Г. Реконструкция водопроводных станций г. Москвы / И.Г. Ищенко, В.И. Миркис // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 8.
32. Эль, Ю.Ф. Обеспечение глубокой биологической очистки сточных вод / Ю.Ф. Эль, О.Н. Исаев, Ф.А. Дайнеко // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 8.
33. Гончаров, В.А. Экологические проблемы водных ресурсов Алтая / В.А. Гончаров, В.В. Евстигнеев, А.В. Самарин, А.П. Кротов // Водоснабжение и сантехника. – 1996. – № 8. – С. 13–14.
34. Эпов, А.Н. Применение ленточных сгустителей на станциях очистки сточных вод // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 8.
35. Порядин, А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения / А.Ф. Порядин. – М.: НУМЦ Гос. Экологии России, 1999. – 338 с.
36. Бо, Д. Пилотные испытания по питьевой водоподготовке в условиях Москворецкого водоисточника / Д. Бо, Г.Н. Герасимов, А.В. Коверга, А.В. Завадский // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 9.
37. Азарова, Н.Г. Интенсификация сооружений биологической очистки производственных сточных вод / Н.Г. Азарова, Л.В. Новикова // Экспресс-информация. Строительство и архитектура. Сер. 9. Вып. 1. – М.: ВНИИС Госстроя СССР, 1985.
38. Федоров, Н.Ф. Городские подземные сети и коллекторы / Н.Ф. Федоров, С.Ф. Веселов. – М.: Стройиздат, 1972. – 299 с.
39. Драгинский, В.Л. Подготовка водоочистных станций к работе в условиях требований СанПИН 2.1.4.559 – 96 / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, П.А. Серов и др. // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 10.
40. Николадзе, Г.И. Водоснабжение / Г.И. Николадзе. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.
41. Веригина, Е.Л. Обработка осадков на иловых площадках / Е.Л. Веригина, И.Н. Чурбанова, М.Н. Козлов // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 10. – С. 34–30.
42. Моль, Ж. Подготовка питьевой воды в XXI веке / Ж. Моль // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 11. – С. 2–6.
43. Бо, Д. Практика озонирования в обработке питьевой воды / Д. Бо, Г.Н. Герасимов // Водоснабжение и сантехника. – 2000. – № 1. – С. 26–29.
44. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПИН 2.1.4.559-96. Госкомсанэпиднадзор России. – М., 1996. – 112 с.
45. Загорский, В.А. Реконструкция очистных сооружений канализации больших городов / В.А. Загорский, Ю.Ф. Эль // Водоснабжение и сантех-

ника. – 1996. – № 6. – С. 11–13.

46. Храменков, С.В. Сорбционная очистка воды для питьевого водоснабжения Москвы / С.В. Храменков // Водоснабжение и сантехника. – 2000. – № 7. – С. 5–7.

47. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. – М., 2000. – 120 с.

48. Говорова, Ж.М. Глубокая доочистка воды в осветлительно-сорбционных фильтрах / Ж.М. Говорова, М.С. Покровский // Водоснабжение и сантехника. – 2000. – № 7. – С. 10–12.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ КАК МЕТОД УСИЛЕНИЯ СИСТЕМ.....	4
1.1. Общие положения .....	4
1.2. Методика решения задач по реконструкции.....	5
2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОЛОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДОВ ...	7
2.1. Общие положения .....	7
2.2. Реконструкция головных сооружений	
поверхностных источников .....	8
2.2.1. Условия забора воды.....	8
2.2.2. Реконструкция головных сооружений с русловыми	
затопленными водоприемниками.....	8
2.3. Реконструкция водозаборов подземных вод из скважин .....	15
2.3.1. Общие положения .....	15
2.3.2. Реконструкция скважин.....	16
2.3.3. Реконструкция головных сооружений с применением	
высокопроизводительных скважин .....	18
2.3.4. Искусственное пополнение подземных вод (ИППВ)	
как условие реконструкции .....	20
3. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ	
И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ .....	21
3.1. Общие положения .....	21
3.2. Усиление неконструктивных водопроводных сетей.....	23
3.3. Реконструкция сетей при гидравлической перегрузке .....	27
3.3.1. Регулирование режимов водоподачи и водоразбора .....	27
3.3.2. Реконструкция насосной станции второго подъема	
и водоводов .....	29
4. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ОТВЕДЕНИЯ ВОДЫ .....	34
4.1. Общие положения .....	34
4.2. Усиление неконструктивных схем системы отведения воды .....	36
4.3. Реконструкция системы отведения воды при постоянной	
гидравлической перегрузке .....	39
4.4. Реконструкция канализационной насосной станции.....	41
5. РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ	
ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО	
ВОДОСНАБЖЕНИЯ .....	46
5.1. Общие положения .....	46
5.2. Реконструкция для повышения барьерной роли станции .....	48
5.2.1. Изменение технологии очистки .....	48



5.2.2. Очистка адсорбцией .....	49
5.2.3. Деструктивная очистка .....	56
5.3. Реконструкция при гидравлической перегрузке .....	62
5.3.1. Общие положения.....	62
5.3.2. Реконструкция основных сооружений водопроводной станции .....	62
5.3.3. Реконструкция с изменением технологической схемы .....	77
6. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД .....	82
6.1. Общие положения .....	82
6.2. Реконструкция при гидравлической перегрузке .....	84
6.2.1. Реконструкция сооружений для механической очистки.....	84
6.2.2. Реконструкция сооружений для биологической очистки ....	87
6.3. Реконструкция очистных сооружений при изменении требований к качеству очистки .....	96
6.3.1. Общие положения.....	96
6.3.2. Реконструкция с целью дополнительного снижения БПК и содержания взвешенных веществ .....	97
6.3.3. Реконструкция для очистки от биогенных веществ .....	99
6.4. Реконструкция илового хозяйства очистных сооружений.....	101
6.4.1. Общие положения.....	101
6.4.2. Реконструкция аэробных стабилизаторов.....	102
6.5. Реконструкция иловых площадок.....	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	108

**Георгий Исаевич Воловник  
Лев Дмитриевич Терехов**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ**

**Учебное пособие**

---

План 2003 г. Поз. 6.28.  
Редактор Т.М. Яковенко.  
Технический редактор Н.В. Мильштейн.  
Корректор Г.Ф. Иванова.  
ИД № 05247 от 2.07.2001 г. ПЛД № 79-19 от 19.01.2000 г.  
Подписано в печать 18.03.2003. Печать офсетная.  
Бумага тип. № 2. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. 6,6. Зак. 173. Тираж 100 экз. Цена 55 р.

---

Издательство ДВГУПС  
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.



Министерство путей сообщения Российской Федерации

---

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Кафедра «Гидравлика  
и водоснабжение»

Г.И. Воловник  
Л.Д. Терехов

# **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ**

Учебное пособие

Хабаровск

2003

