

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

ВАСИЛЕНКО А.А., ГРАБОВСКИЙ П.А., ЛАРКИНА Г.М.,
ПОЛИЩУК А.В., ПРОГУЛЬНЫЙ В.И.

Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения

(УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ)

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины как
учебное пособие для студентов высших учебных заведений, которые
обучаются по специальности «Водоснабжение и водоотведение»

КИЕВ – ОДЕССА – 2008

УДК 628.16

Рецензенты:

Душкин С.С., доктор технических наук, профессор, Харьковская национальная академия городского хозяйства.

Хоружий П.Д., доктор технических наук, профессор, Институт гидротехники и мелиорации Украинской академии аграрных наук.

Эпоян С.М., доктор технических наук, профессор, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры.

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины как учебное пособие для студентов высших учебных заведений, которые обучаются по специальности «Водоснабжение и водоотведение» (письмо Министерством образования и науки Украины № 1-4/18-1-2174 от 5.12.07).

Василенко А.А., Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: Учебное пособие. – Киев – Одесса, КНУСА, ОГАСА, 2007. – 307с.

Пособие составлено в двух вариантах: традиционном печатном (на бумажном носителе) и электронном, для использования которого необходим компьютер. Каждая тема снабжена контрольными вопросами.

Для студентов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение». Пособие может быть полезно и специалистам с высшим образованием при повышении квалификации.

УДК 628.16

© Василенко А.А., Грабовский П.А.,
Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И., 2007

ВСТУПЛЕНИЕ	6
Контрольные вопросы	9
A. ВОДОСНАБЖЕНИЕ	10
1. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	10
1.1. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ	10
1.1.1. Обследование работы действующих сооружений	10
1.1.2. Буровые скважины	13
1.1.3. Лучевые водозаборы	20
1.1.4. Шахтные колодцы	22
Контрольные вопросы	24
1.2. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ	24
Контрольные вопросы	29
2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	29
2.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ	29
Контрольные вопросы	31
2.2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ	31
Контрольные вопросы	33
2.3. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СМЕШЕНИЯ	34
Контрольные вопросы	43
2.4. ОСВЕТЛЕНИЕ, ОТСТАИВАНИЕ	43
Контрольные вопросы	56
2.5. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ	57
2.5.1. Фильтрация в направлении убывающей крупности зерен	58
2.5.2. Фильтрация с уменьшающейся по ходу потока скоростью	61
2.5.3. Фильтрация с уменьшающейся во времени скоростью	62
2.5.4. Использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью	65
2.5.5. Предварительная реагентная обработка воды	67
2.5.6. Повышение эффективности регенерации загрузки	69
2.5.7. Совершенствование конструкций фильтра	73
Контрольные вопросы	78
2.6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД	78
Контрольные вопросы	84
2.7. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ	84
2.7.1. Хлорирование с аммонизацией	86

2.7.2. Обеззараживание водными растворами хлора –	89
гипохлоритами натрия или кальция	89
2.7.3. Обеззараживание воды диоксидом хлора	90
2.7.4. Озонирование	93
2.7.5. Ультрафиолетовое облучение	96
Контрольные вопросы	97
3. РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ	98
3.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ	98
3.1.1. Определение расчетных расходов	98
3.1.2. Насосные станции	105
3.1.3. Водоводы и сети	111
3.1.4. Манометрическая съемка водопроводной сети	115
3.1.5. Изучение совместной работы элементов СПРВ	117
Контрольные вопросы	120
3.2. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОДАЧИ ВОДЫ	121
3.2.1. Безбашенные системы	121
3.2.2. Башенные системы	127
3.2.3. Системы с узлами регулирования	130
Контрольные вопросы	132
3.3. СПОСОБЫ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ В СПРВ	133
3.3.1. Методы регулирования работы насосов	135
3.3.2. Методы управления насосной станцией	141
Контрольные вопросы	145
3.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПРОВОДОМ	146
Контрольные вопросы	149
Б. ВОДООТВЕДЕНИЕ	149
4. РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ И СООРУЖЕНИЙ НА НИХ	149
4.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И ПАСПОРТИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ, УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ	149
Контрольные вопросы	156
4.2. БЕСТРАНШЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ПРОКЛАДКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ	156
Контрольные вопросы	171
5. НЕОБХОДИМОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ	171

5.1. ГЛАВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ДЕЙСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЯХ	171
Контрольные вопросы	182
5.2. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	183
Контрольные вопросы	188
6. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	189
6.1. УСРЕДНЕНИЕ	189
Контрольные вопросы	191
6.2. РЕШЕТКИ И ПЕСКОЛОВКИ	192
Контрольные вопросы	197
6.3. ПЕРВИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ	197
Контрольные вопросы	210
7. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	211
7.1. МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ БИОФИЛЬТРОВ	211
Контрольные вопросы	222
7.2. АЭРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ	222
7.2.1. Увеличение массы активного ила, который принимает	223
участие в процессе очистки	223
7.2.2. Технология биологического удаления азота и фосфора	226
7.2.3. Оптимизация работы систем аэрации. Системы перемешивания	239
Контрольные вопросы	255
7.3. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ	256
Контрольные вопросы	272
8. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	272
8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	272
Контрольные вопросы	275
8.2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ АНАЭРОБНОЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	275
Контрольные вопросы	301
ЛИТЕРАТУРА	302

ВСТУПЛЕНИЕ

Основными проблемами водопроводно-канализационного хозяйства в Украине являются:

- износ основных фондов водопроводно-канализационных систем;
- излишние объемы потребляемой воды;
- чрезмерные затраты энергии;
- низкая эффективность очистки воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения, не обеспечивающая барьерную роль сооружений и постоянное соответствие качества очищенной воды нормам Украины;
- недостаточная производительность очистных сооружений систем водоотведения и низкое качество очистки сточных вод.

Главное препятствие решению этих проблем – недостаток финансовых ресурсов. Общая потребность в капиталовложениях в течение ближайших 20 лет для достижения приближенных к Европейскому сообществу уровня услуг и стандартов - 22-26 млрд. евро (114 -135 млрд. грн.). Капиталовложения на восстановление эксплуатационной надежности существующих сооружений - 4-6 млрд. евро (20-31 млрд. грн.).

Основным направлением развития водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) в Украине и мировой практике сейчас является **реконструкция и интенсификация** сооружений.

Реконструкцией (от лат. ге... и лат. constructio – построение) называют коренное переустройство, перестройка чего-либо с целью улучшения, усовершенствования.

Интенсификацией (от лат. intensio) называют усиление, увеличение напряженности, производительности, действенности, работоспособности.

По приближенным оценкам потребность в реконструкции и интенсификации в масштабах Украины составляет:

- 30 % водозаборных, очистных сооружений и насосных станций;
- 40 000 км водопроводных сетей;
- 10 000 км канализационных сетей;
- 40 % канализационных насосных станций;
- 25 % канализационных очистных сооружений.

Крайне велики объемы потребляемой в водопроводно-канализационном хозяйстве энергии. Стоимость затрат электроэнергии составляют около 40-50 процентов от эксплуатационных затрат Водоканалов. Существующий уровень эффективности насосных агрегатов можно оценить в пределах 0,4-0,5. При использовании соответствующего современного оборудования эта эффективность может увели-

читься до 0,7-0,75. Возможный уровень экономии энергозатрат в масштабах Украины может составить 0,5-1,0 млрд. кВт-часов в год.

Задачи реконструкции и интенсификации водопроводных и канализационных сооружений можно сформулировать как удовлетворение повышенных требований населения и промышленности к количеству и качеству воды при минимальных затратах. При этом возникают задачи следующих типов:

1. Увеличение количества подаваемой воды.
2. Улучшение качества подаваемой воды.
3. Снижение затрат (электроэнергии, материалов, трудовых ресурсов и т.п.).
4. Повышение качества очистки сточных вод.
5. Увеличение надежности работы сооружений.
6. Снижение отрицательных экологических последствий функционирования сооружений ВКХ.

Увеличение количества подаваемой воды может быть реализовано путем:

- интенсификации и (или) реконструкции без строительства дополнительных сооружений;
- строительства дополнительных сооружений;
- интенсификации и (или) реконструкции с дополнительным строительством.

Улучшение качества очистки воды для хоз-питьевых нужд можно осуществить:

- изменением технологического режима (вида, дозы и места ввода реагентов, режима промывки фильтров, сброса осадков и т.п.);
- реконструкцией очистной станции и (или) ее расширением;
- сочетанием предыдущих способов.

Повышение качества очистки сточных вод может достигаться:

- расширением и строительством дополнительных сооружений по всей технологической линии очистки сточных вод и обработки осадков;
- реконструкцией и модернизацией сооружений механической и биологической очистки сточных вод и обработки осадков.

Снижение затрат, т.е. улучшение технико-экономических показателей работы сооружений ВКХ, возможны за счет:

- оптимизации режимов работы сооружений;
- расширения системы водоснабжения или водоотведения;

- применения менее энергоемкого оборудования, более эффективных сооружений и реагентов;
- улучшения системы управления сооружениями ВКХ (создание автоматизированных систем управления)¹.

Увеличение надежности работы сооружений осуществляется путем:

- разумного резервирования основных сооружений и оборудования,
- применением более совершенного оборудования и материалов (насосы, трубы и т.п.),
- мониторинга основных технических параметров для рационального управления сооружениями ВКХ (качество исходной и очищенной воды, давлений в диктующих точках водопроводных сетей, на входе и выходе их насосных станций, расходов насосов и т.п.).

При реконструкции и интенсификации обязательно должны быть учтены **экологические аспекты**. В первую очередь это связано со степенью очистки сточных вод, сбросом их в водоемы, обработкой осадка водопроводных и канализационных станций и т.п.

Необходимо отметить, что в последние годы задача повышения производительности сооружений (в особенности водопроводных) ставится всё реже. Вызвано это следующими причинами. Во-первых, объемы промышленного производства уменьшились, следовательно, сократилось количество потребляемой предприятиями воды. Во-вторых, нормы водопотребления населения, по которым были запроектированы существующие сооружения ВКХ, сильно (в 1,5-2 раза) превышены по сравнению с Европейскими нормами. Так, для домов с нормальным санитарным благоустройством (водопровод, канализация, ванны и централизованное горячее водоснабжение) норма водопотребления достигает 300-350 л/чел в сутки. В тоже время в Германии фактическое водопотребление составляет 150-200 л/чел в сутки. Водоканалы в последнее время предпринимают ряд мер для сокращения расходов воды населением. В первую очередь - это установка квартирных счетчиков воды. Кроме того, повышаются тарифы на воду.

Реконструкция и интенсификация сооружений ВКХ производится поэтапно. Основные этапы этих работ:

¹ При этом одновременно повышается и надежность работы сооружений.

1. Обследование потребителей с целью определения фактического водопотребления, реальной потребности в воде, а также путей снижения расходов.
2. Анализ, обобщение результатов обследования, определение расчетных расходов (суточных и часовых).
3. Обследование существующих сооружений с целью получения их гидравлических, технологических и экономических характеристик.
4. Составление перечня возможных вариантов реконструкции и интенсификации.
5. Поверочные расчеты по всем вариантам с целью выделения наиболее перспективных и реальных (технически и экономически).
6. Технологические изыскания² по выделенным вариантам (например, при изменении технологической схемы, применении новых сооружений, реагентов и т.п.).
7. Детальные расчеты по выбранным вариантам и при необходимости технико-экономические расчеты.
8. Проектирование по окончательному варианту.
9. Реализация проекта. При реализации следует иметь в виду необходимость обеспечения бесперебойной подачи воды в период производства работ по реконструкции и интенсификации.
10. Пуск и наладка сооружений.

Контрольные вопросы

1. Что подразумевают под интенсификацией сооружений?
2. Задачи реконструкции и интенсификации сооружений ВКХ.
3. Пути решения задач интенсификации.
4. Основные этапы выполнения работ по реконструкции и интенсификации.

² Технологические изыскания целесообразно проводить на пилотных установках, работающих на природной воде из используемого источника водоснабжения.

А. ВОДОСНАБЖЕНИЕ

1. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОЗАБОРЫ

Необходимость интенсификации подземных водозаборов возникает в следующих случаях:

1. Дебит скважин снизился либо его необходимо увеличить.
2. В откачиваемой воде появляются частицы водоносной породы.
3. Ухудшилось качество воды.
4. Необходимо снизить потребление энергии.

Интенсификации предшествует тщательное обследование сооружений.

1.1.1. Обследование работы действующих сооружений

Обследование подземных водозаборов производится в несколько этапов:

- собирают и анализируют документацию по бурению, откачкам, монтажу водоподъемника, эксплуатации скважины, анализам воды, произведенным ранее ремонтам, обследованиям и т.д.;
- по паспорту скважины сверяют местоположение, название организации, бурившей скважину, способ бурения абсолютную отметку поверхности земли;
- анализируют геологический разрез, образцы пород, конструкцию скважины,
- полученные материалы сопоставляют с гидрогеологическими данными по району;
- уточняют сведения о фильтровой колонне: длину и диаметры надфильтровой и рабочей части, отстойника, диаметр отверстий и материал каркаса, сетки и проволоки, название и номер сетки или диаметр и шаг проволоки, крупность и толщину гравийной обсыпки, высота, способ засыпки, конструкцию сальника и пробки;

- уточняют статический уровень (СУ) воды, дебит, понижение, удельный дебит³ при опытной откачке и в период ее эксплуатации;
- систематизируют сведения по эксплуатации скважины: время эксплуатации, перерывы в работе насоса, причины остановок и пр.

Затем производят предварительное обследование скважины в натуре. Определяют марку насоса, его техническое состояние, наличие и состояние системы контроля и управления, арматуру, обвязку скважины. Осматривают устье скважины, проверяют цементацию межтрубного пространства, устанавливают, как часто промывают резервуары чистой воды, берут пробу осадка из него на анализ (возможно наличие песка).

При обследовании устья скважины необходимо обратить внимание на наличие и состояние уплотнительных сальников в отверстиях опорной плиты для ввода кабеля, датчиков замера уровня воды, резиновой прокладки между опорной плитой и фланцем устьевого патрубка.

Замер уровня воды в скважине производят рулеткой с метрированным проводом или стальным канатиком, соединенным с наконечником – электроуровнемером, который работает по принципу замыкания водой цепи между датчиком, опускаемым в скважину и землей. Для измерения уровня воды в скважине можно использовать и более сложные приборы – манометрические, поплавковые, самопишущие и др. Статический уровень воды в скважине считается установившимся, если в течение 6 часов он практически не меняется. Дебит можно измерить водомером, ультразвуковым накладным расходомером или другими расходомерами.

После этого установленным насосом или специально смонтированным водоподъемным оборудованием откачивают воду и определяют статический уровень, динамический уровень (ДУ), удельный дебит. Кроме того, отбирают пробы воды на анализы (микробиологический, токсикологический и органолептический).

При использовании для подъема воды насосов необходимо получить их фактические характеристики. Методика этих работ для горизонтально - установленных центробежных насосов описана в разд.

³ Удельный дебит – отношение производительности скважины к понижению, размерность – м³/ч•м.

3.1.2. Для погружных насосов методика несколько меняется, поскольку напор здесь определяется иначе.

Напор погружных насосов определяется формулой:

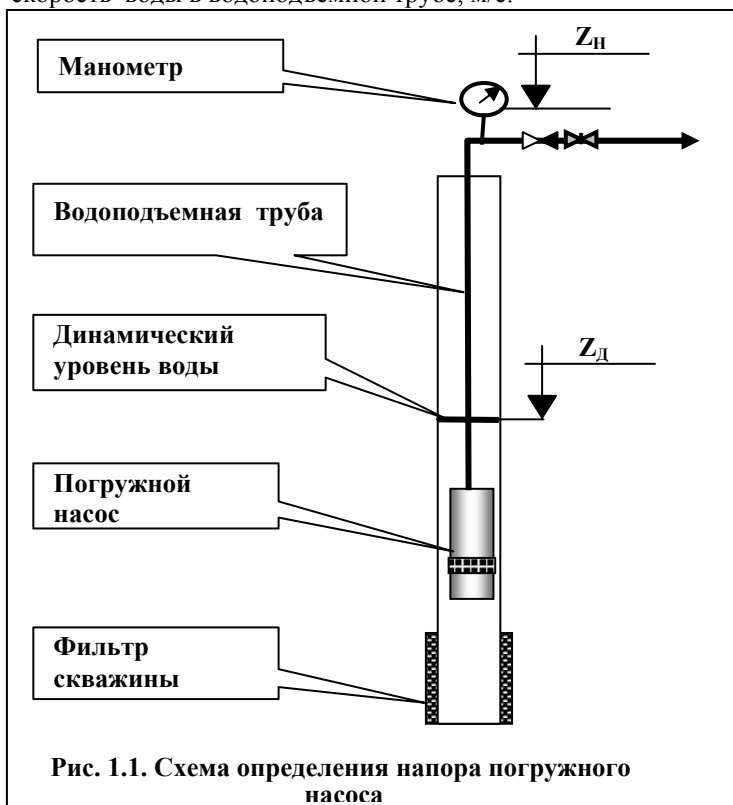
$$H = H_{\text{н}} + Z_{\text{н}} - Z_{\text{д}} + h + \frac{V^2}{2g},$$

где $H_{\text{н}}$ – напор, определенный по показаниям манометра, м;

$Z_{\text{н}}$, $Z_{\text{д}}$ – геодезические отметки оси манометра и динамического уровня воды (относительно одной плоскости сравнения - см. рис.1.1), м;

h – потери напора на входе в насос и в водоподъемной трубе от насоса до манометра, м;

V – скорость воды в водоподъемной трубе, м/с.



Потери напора приближенно определяются формулой:

$$h = 1,3(1000i)L,$$

где 1,3 – коэффициент, учитывающий местные сопротивления;
L – длина водоподъемной трубы от насоса до манометра, км;
1000i – гидравлический уклон, м/км.

1.1.2. Буровые скважины

По полученным при обследовании данным выполняют поверочный расчет системы «скважины – потребитель». Зная материал труб, диаметры, фактическое сопротивление труб, строят пьезометрическую линию и сравнивают ее с данными манометрической съемки. Оценивают правильность подбора насосов, необходимость регулирования их работы, взаимовлияние скважин.

Интенсификация водозаборных скважин может быть достигнута как путем восстановления дебита действующих, так и строительства новых скважин.

В процессе эксплуатации водозаборных скважин удельный дебит их может уменьшаться. Это происходит вследствие следующих возможных причин:

- зарастания отверстий в фильтре и пор в окружающем фильтр водоносном слое солями железа, кальция, магния или биологической пленкой;
- механического заклинивания этих отверстий частицами, более мелкими, чем основная масса водоносной породы;
- снижения статического уровня из-за увеличения общего отбора воды из водоносного пласта вновь построенными скважинами;
- поступления воды из эксплуатируемого водоносного пласта в неэксплуатируемые через трещины в заделке затрубного и межтрубного пространства или через свищи, образовавшиеся в обсадных трубах в результате их коррозии;
- изменения характеристик насосного оборудования.

Влияние некоторых причин на уменьшение производительности скважин сведено в табл. 1.1[1].

В некоторых случаях снижение производительности скважин может произойти в результате ухудшения условий питания водоносного пласта (уменьшение выпадения атмосферных осадков, дренирова-

ния территории и т.п.). В этом случае прибегают к искусственным методам пополнения запасов подземных вод.

Таблица 1.1. Возможные причины снижения дебита скважин

Статический уровень (СУ)	Динамический уровень (ДУ)	Удельный дебит	Возможные причины изменения производительности
Без изменения	Выше, чем раньше	Без изменения или несколько больше	Уменьшение производительности насоса
Постоянное понижение на ΔH_1	Постоянное понижение на ΔH_1	Без изменения	Увеличение на ΔH районной депрессии
Периодическое понижение на ΔH_2	Периодическое понижение на ΔH_2	Без изменения	Влияние работы соседних скважин
Без изменения	Ниже, чем раньше	Уменьшение	Заиливание скважины, фильтра и прифильтровой зоны

Ухудшение качества воды в большинстве случаев происходит в результате нарушения режима в зоне санитарной охраны; из-за поступления загрязненных поверхностных вод, проникающих в водоносный пласт через устье скважины по незатампонированному или плохо затампонированному затрубному пространству.

Если в процессе эксплуатации обнаружено ухудшение микробиологических показателей качества воды, скважину дезинфицируют и выявляют источники загрязнения воды. Для устранения более стойких загрязнений очищают трубы и насосное оборудование и обрабатывают надводную и подводную части скважины раствором хлорной извести (концентрацией до 50 мг/л), который вводят по заливочным трубам.

Анализ полученных данных позволяет установить причину снижения производительности скважины и наметить мероприятия по ее восстановлению (табл. 1.2).

В случае снижения производительности скважины из-за механической коагуляции фильтра или прифильтровой зоны частицами водоносной породы, а также химической коагуляции (гидратированными окислами и солями), прибегают к специальным методам восста-

новления производительности скважин. К основным из них относят импульсные, реагентные и импульсно-реагентные [1].

Импульсные методы основаны на создании внутри фильтра и прифильтровой зоне мгновенного перепада давления, что приводит к ударным нагрузкам разной интенсивности, образующих фильтрационные потоки попеременного направления.

Таблица 1.2. Анализ контрольных замеров и рекомендации по восстановлению производительности скважин

Результаты контрольных замеров	Причины снижения производительности скважин	Рекомендации по восстановлению производительности скважин
Дебит, удельный дебит, СУ, содержание песка не изменилось; ДУ понизился, понижение увеличилось	Дебит снижается вследствие зарастания фильтра и прифильтровой зоны осадками; фильтровая колонна и насос исправны.	Произвести профилактический ремонт, в дальнейшем интервал между такими ремонтами принять равным 1 году.
Понижение, удельный дебит и содержание песка не изменилось; уменьшился дебит, понизился СУ и ДУ	Сработка пьезометрического уровня по району (районная депрессия), скважина исправна.	Увеличить глубину погружения насоса и продолжить эксплуатацию этого пласта либо перейти на нижележащий горизонт.
СУ, удельный дебит и содержание песка не изменилось, дебит и понижение уменьшились, ДУ повысился.	Неисправность насоса.	Произвести ремонт насоса, интервал между профилактическими ремонтами насоса установить не более 1 года.
Дебит и удельный дебит увеличились, СУ не изменился, ДУ повысился, пониже-	Неполная разглинизация скважины или продолжение формирования естественно-	Эксплуатацию скважины можно продолжать.

ние уменьшилось, содержание песка увеличилось	го обратного фильтра (или и то и др.); на забое имеется песчаная пробка, не оказывающая заметного влияния на дебит скважины.	
СУ и содержание песка не изменилось, дебит и удельный дебит уменьшились, ДУ понизился, увеличилось понижение.	Заращение фильтра и прифилтровой зоны химическими осадками, а также неисправность насоса и накопление осадков в насосной линии.	Демонтировать насос, осмотреть и устранить неполадки; в случае исправности насоса произвести механическую очистку и обработку скважины; интервал планово - предупредительного ремонта (ППР) скважины и насоса принять равным 1 году.
Дебит не изменился либо уменьшился, СУ и содержание песка не изменилось, понижение и удельный дебит увеличились, ДУ понизился (замеру не поддается – ниже насоса) – ДУ опустился до критической отметки	Произошло заращение фильтра и прифилтрового пространства, фильтр, сальник, пробка отстойника разрушены, возможны неполадки в насосе.	демонтировать насос, осмотреть и исправить, в случае исправности насоса произвести ремонт скважины, интервал между ППР принять 6 мес.
Подача равна 0, СУ равен ДУ.	Насос неисправен.	Ремонт или замена насоса.
СУ не изменился, первоначально песка не было, при замерах обнаружен песок, дебит и удельный	Неисправность водоприемной части (разрушение фильтровой или опускание обсадной колонны, за-	Демонтировать насос, обследовать скважину и устранить неполадки, заменить фильтро-

дебит стремятся к 0 (подача воды пульсирует), понижение растет, ДУ приближается к критической отметке (верх насоса)	полнение фильтра песком вследствие повреждения сальника, обмотки фильтра или неисправности изоляции отстойника)	вую колонну.
---	---	--------------

Совместное действие ударных и фильтрационных сил оказывает разрушающий эффект на кольматант, цементирующий отверстия фильтров и прифилтровое пространство. Регенерация скважин по этим методам осуществляется взрывом торпед из детонирующего шнура, электрогидравлическим ударом, пневмовзрывом и другими способами. Взрывные методы очистки фильтров и скважин применяют при заложении их в крепких трещиноватых породах, а также при зарастании фильтров плотными, крепкими осадками, в которых преобладают карбонаты и соли кремниевых кислот.

Под действием взрыва торпеды из детонирующего шнура в зоне фильтра и в зоне водоприемной части бесфильтровой скважины образуются большие трещины, а в результате обрушения породы увеличивается диаметр водоприемной части скважины. Рекомендуется применение взрывного метода в скважинах не более 3 раз из-за опасности выхода скважин из строя.

Электрогидравлическая обработка основана на разрушении и удалении кольматирующих отложений волнами, возникающими при импульсных электрических разрядах. Для этого используются специализированные установки, обеспечивающие создание электрогидравлического удара по длине фильтра с давлением до 5-6 МПа. Энергия, накопленная в конденсаторе разрядного контура, через воздушный промежуток по коаксиальному кабелю в форме импульса тока высокого напряжения подается к жидкостному разрядному устройству, погруженному в скважину в зоне расположения фильтра. В жидкостном разряднике, непрерывно перемещаемом вдоль фильтра, возбуждаются ударные волны.

Пневмоимпульсное воздействие обеспечивается специальными установками, создающими с помощью сжатого воздуха (при высоком давлении воздуха) в стволе скважины волны повышенного давления интенсивностью до 4 МПа и фильтрационные потоки с высокими градиентами.

Импульсные методы регенерации позволяют восстановить производительность скважин до 40–60% от первоначальной при межре-

монтажном периоде в условиях последующей эксплуатации не менее 1 года.

Реагентные методы обработки скважин основаны на применении реагентов, способствующих растворению коьматантов в фильтре и прифилтровом пространстве. Они позволяют добиться практически первоначальной производительности скважин.

Подбор реагентов осуществляется в зависимости от состава водоносных пород, конструкции скважин и фильтра, а также характера коьматирующих осадков.

Наиболее распространенным раствором является ингибированная соляная кислота концентрацией 10 – 15 %. Для обработки одной водозаборной скважины требуется от 300 до 1000 кг соляной кислоты в зависимости от диаметра и длины фильтра. Обработка скважины сводится к нескольким повторяющимся циклам, каждый из которых состоит из следующих операций (рис.1.2):

1. По трубопроводу 12 производится подача раствора соляной кислоты самотеком.
2. Немедленно после слива кислоты оголовки 8 скважины перекрываются, и компрессором по трубопроводу 5 подают воздух для сжатия воды до определенного уровня.
3. По истечении 15 – 20 мин компрессор останавливают и по трубопроводу 7 сбрасывают продукты реакции.
4. После того, как уровень в скважине восстановится, операцию повторяют 8 – 10 раз в течение 2 часов.

Продавливание кислоты сжатым воздухом через фильтр в прифилтровую зону, заполненную коьматантом, способствует его растворению, после чего продукты реакции удаляются из скважины.

После окончания обработки скважины демонтируют герметизирующее устройство, монтируют эрлифтную систему или погружной насос и производят откачку, в результате которой удаляют остаточное количество реагента и продукты реакции. Затем скважину запускают в режим эксплуатации.

Комбинированный импульсно-реагентный (вибореагентный) метод восстановления дебита скважин основан воздействием на коьматант реагента в сочетании с его гидродинамической обработкой.

Приведенные выше методы обработки скважин позволяют добиться высоких показателей восстановления их производительности – до 70% относительно первоначальной и значительного увеличения удельного дебита.

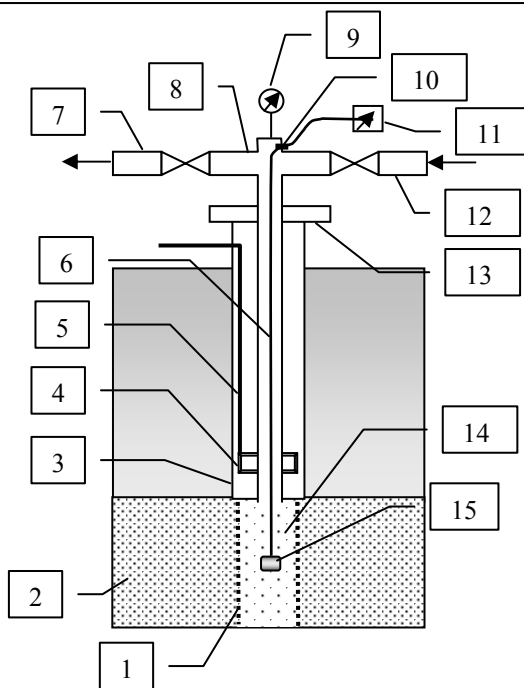


Рис. 1.2. Схема реагентной обработки скважины:

1 – фильтр; 2–водоносная порода; 3–обсадная колонна; 4– пневматический пакер; 5 – труба для подачи воздуха; 6– двух- жильный кабель; 7–трубопровод для выпуска продуктов реак- ции; 8– оголовок; 9–манометр; 10– сальник; 11– омметр; 12– трубопровод для подачи реагента; 13–опора; 14–реагент; 15– датчик для замера электрического сопротивления раствора.

Как отмечалось ранее, при расширении водозабора из подзем- ных источников, помимо повышения производительности сущест- вующих скважин рассматривают возможность увеличения их числа.

При этом решают следующие вопросы:

- 1) выбор новой площадки водозабора (скважины обычно раз- мещают в районе существующего водозабора);

- 2) оптимизация схемы сборных водоводов новых скважин, расстояния между ними и подключения их к действующей схеме;
- 3) проектирование конструкции скважины (определение диаметра и количества обсадных труб, выбор и расчет фильтра, подбор насосного оборудования);
- 4) взаимодействие скважин при откачке из одного водоносного пласта;
- 5) проверка схемы подачи воды потребителю с учетом совместной работы всех сооружений;
- 6) прогнозирование изменения дебита в процессе эксплуатации.

1.1.3. Лучевые водозаборы

Практика эксплуатации лучевых водозаборов показала их высокую эксплуатационную надежность и простоту обслуживания. Многие из этих водозаборов хорошо работают в течение достаточно большого периода времени, и их дебит за это время не уменьшился. Вместе с тем нередко имеют место случаи уменьшения дебита лучевых водозаборов в процессе их эксплуатации по сравнению с первоначальным.

Основными причинами уменьшения дебита лучевых водозаборов являются:

- заиливание или кольятация русла реки в месте расположения лучей;
- занос фильтровых труб песком;
- зарастание лучей солями кальция, железа, марганца и другими химическими соединениями.

Зарастание или кольятация русла реки является главной причиной уменьшения дебита инфильтрационных лучевых водозаборов. Так, опыт эксплуатации подруслового водозабора лучевого типа системы водоснабжения г. Варшавы, сооруженного под руслом реки Висла, показал, что за 10 лет производительность водозабора снизилась с 150 тыс. м³/сут до 100 тыс. м³/сут в основном за счет кольятации русловыми отложениями. Другие лучевые водозаборы, построенные в Германии, также показали значительное снижение дебита в процессе эксплуатации. Результаты наблюдений за инфильтрационными лучевыми водозаборами с фильтровыми трубами, продавленными под дном реки, позволили установить, что грунт дна реки, лежащий над горизонтальными скважинами, постепенно так сильно забивается взве-

взвешенными веществами и другими мельчайшими частицами, что приток к скважинам резко уменьшается или исчезает полностью. Поэтому при значительной загрязненности воды в реках и при большом содержании взвешенных наносов строительство инфильтрационных лучевых водозаборов должно быть тщательно обосновано.

Мероприятия по борьбе с кольматацией дна реки довольно сложны и трудоемки по сравнению с восстановлением производительности вертикальных скважин. Для этой цели применяют очистку русла реки с использованием земснарядов, специальные водоструйные приспособления и рыхлители дна [2]. Помимо этого, прибегают к изменению гидрологического режима реки или уменьшению интенсивности забора воды инфильтрационными лучами. Если перечисленные методы не дают заметного результата применяют искусственное пополнение грунтовых вод. При этом доля воды, поступающей с береговой стороны, в общем дебите лучевого водозабора повышается и тем самым компенсирует уменьшение доли воды, поступающей из реки.

Занос песком фильтровых труб в меньшей степени влияет на производительность лучевых водозаборов. Однако, попадая из фильтровых труб в колодец, песок может отрицательно влиять на работу установленного в нем насосного оборудования. Кроме того, он мешает плотному закрыванию задвижек, забивает водоотводящие трубы, уменьшая, тем самым их пропускную способность, а также заклинивает часть щелей. При этом возрастает сопротивление лучей, что приводит к понижению уровня воды в колодце.

Существует несколько причин заноса песка в фильтровые трубы:

- при производстве работ по прокладыванию лучей не успевают произвести удаление песка из окружающего фильтровую трубу грунта;
- при слишком интенсивной откачке воды из колодца происходит суффозия грунта, и мелкие частицы песка попадают в фильтровую трубу;
- принятый метод горизонтальной проходки по устройству лучей не приемлем для данного грунта.

Очистку фильтровых труб от песка выполняют сравнительно успешно введением в них промывной трубы с наконечником. При этом сильной струей воды песок размывается и выносится в колодец.

Зараствание фильтровых труб солями различных химических соединений происходит в результате отложения на стенках и в щелях фильтровых труб солями кальция, железа, марганца и др. Как правило,

заращение усиливается, если течение грунтовых вод носит турбулентный характер, а также при наличии свободного кислорода.

Когда вода проходит через отверстия фильтра с большой скоростью, то вследствие значительного перепада давления снаружи и внутри фильтра из воды выделяется некоторая часть растворенного в ней углекислого газа, что влечет за собой превращение бикарбонатов в менее растворимые карбонаты. В результате происходит их оседание не только на поверхности и в щелях фильтровой трубы, но и в порах грунта, окружающего фильтр.

При восстановлении производительности лучевых водозаборов используют механическую чистку ершом, промывку их с применением гидронасадок и продувкой сжатым воздухом, а также реагентную обработку путем задавливания реагента за контур фильтра.

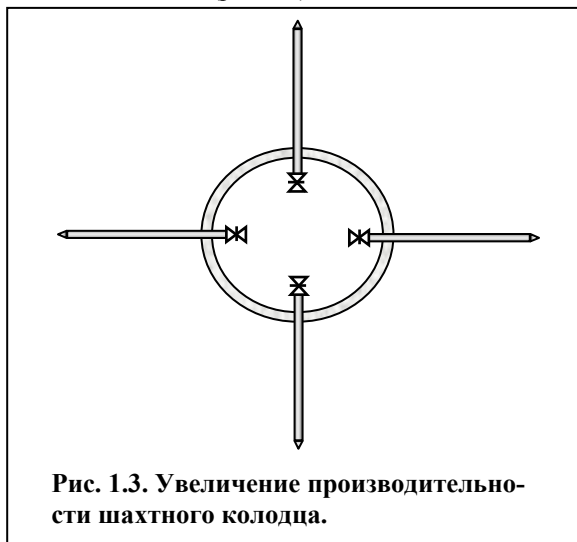
1.1.4. Шахтные колодцы

Шахтные колодцы по сравнению с водозаборными скважинами имеют большие размеры поперечного сечения и применяются для забора подземных вод, залегающих на сравнительно небольшой глубине до 30 м.

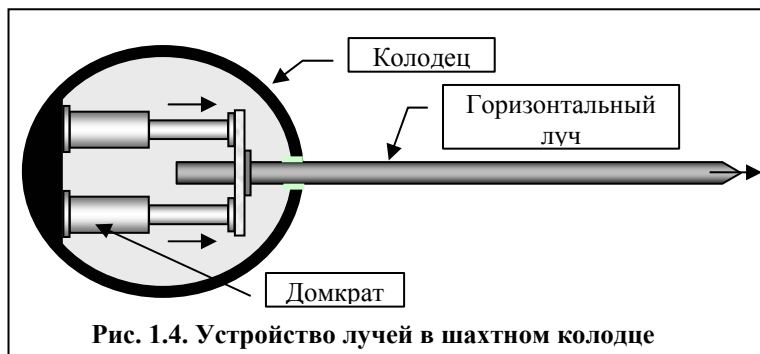
Снижение дебита шахтных колодцев в процессе их эксплуатации может происходить в результате механической и химической кольматации водоприемной части. Для восстановления производительности шахтных колодцев применяют реагентные и комбинированные методы регенерации, описанные ранее. Вместе с тем опыт показывает, что в большинстве случаев устойчивая работа шахтных колодцев обеспечивается их механической или гидравлической чисткой. Для этой цели разработан ряд установок, которыми очищают колодец от ила или разжиженного грунта (очиститель шахтных колодцев - ОШК – 30, струйный элеватор-эжектор).

Гидравлический принцип чистки колодцев реализован в гидроциклонной насосной установке. Установка работает следующим образом: на дно шахтного колодца опускают гидроэлеватор и включают воду, которая, пройдя гидроэлеватор, захватывает из колодца донные наносы. Затем смесь поступает в гидроциклон, где происходит отделение осадка от жидкости, после чего вода вновь поступает в гидроэлеватор, а осадок – в гидроциклон-сгуститель, где происходит его уплотнение.

В санитарно-профилактических целях шахтный колодец осматривают раз в месяц и детально не реже одного раза в год. Для увеличения производительности шахтных колодцев бурят горизонтальные скважины (фильтровые трубы), что значительно (в 2 – 3 раза) увеличивает приток воды в колодец (рис.1.3).



Для этого при сооружении шахтного колодца, предварительно в его стенках на проектной отметке в районе водоносного пласта предусматривают отверстия. Количество отверстий должно быть в 1,5 - 2 раза больше расчётного числа лучей (на случай замены или устройства дополнительных скважин для увеличения производительности водоза-



бора). В отверстия вставляются отрезки труб, которые вдавливаются в водоносный слой домкратами (рис.1.4).

Отрезки труб (звенья) соединяются между собой при помощи сварки или резьбы, образуя луч. На концах лучей в колодце устанавливают задвижки.

Повышение производительности шахтных колодцев может быть также достигнуто увеличением их числа. При этом необходимо решать те же вопросы, что и при строительстве водозаборных скважин (см. разд.1.1.2.).

Контрольные вопросы

1. Перечислите работы, выполняемые при обследовании подземного водозабора.
2. Как определяют параметры существующего водоподъемного оборудования?
3. Каковы причины изменения производительности скважин? Методы устранения этих причин.
4. Причины ухудшения качества воды, забираемой подземным водозабором. Методы улучшения качества воды.
5. Как по результатам обследований определить причину изменения производительности водозабора?
6. Дайте краткую характеристику методов восстановления производительности скважин.
7. Какие вопросы следует решать при бурении новых скважин на существующем водозаборе?
8. Основные причины снижения дебита лучевых водозаборов и шахтных колодцев?
9. Назовите методы реконструкции и интенсификации лучевых водозаборов, шахтных колодцев.

1.2. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Повышение производительности действующих водозаборных сооружений из поверхностных источников, также как и подземных, может быть достигнуто путем их интенсификации, строительством нового комплекса или отдельных его элементов. Как правило, реконструкция сооружений оказывается экономически более выгодным, чем новое строительство, а иногда достаточным является восстановление производительности водозабора до первоначальной. В связи с этим

следует рассмотреть причины снижения производительности водозаборных сооружений в процессе эксплуатации. Основными из них являются:

- занос оголовка наносами, шугозаторы;
- загрязнение сороудерживающих решеток, сеток, пористых кассет;
- отложение донных наносов в подающих линиях;
- неудовлетворительная работа насосов, вызванная неправильным их подбором (например, без учета суточной неравномерности), кавитацией и т.п.;

Для выяснения причин снижения производительности водозаборных сооружения проводят их обследование и анализ. Для этого вначале детально изучают имеющуюся техническую документацию, исполнительную проектную съемку, журналы эксплуатации, наличие инструкций по эксплуатации и регламента сооружений. Анализируют частоту промывок решеток, сеток, подающих линий; качество промывки; частоту и полноту удаления осадка из приемного отделения; изменение глубин у оголовка; качество воды; колебания уровней воды в реке и колодце; аварии и их причины; совместные характеристики насосов и водоводов; режим работы НС-1 по сезонам. Помимо этого, изучают гидрологический режим источника водоснабжения, движение наносов и шуги в створе водозабора.

После чего проводят обследование водозабора, включающее:

- осмотр (при необходимости водолазом) водоприемных отверстий оголовка, измерения вокруг него глубины;
- апробация работы установленного в колодце оборудования: сеток, промывки сеток и подающих линий, эжектора или насоса для удаления осадка (возможность взмучивания осадка), а также контрольно-измерительных приборов (КИП);
- замер уровней воды в реке, приемном и всасывающем отделении при одновременном замере подачи насосов.

После чего строят совместную характеристику насосов и водоводов, выполняют поверочный расчет и сравнивают расчетные и фактические сопротивления подающих линий и водоводов. Затем определяют неразмывающие скорости для оголовков и незаиливающие для подающих линий с учетом дисперсионного состава наносов. При необходимости проводят промывку и вновь повторяют замеры. После этого намечают мероприятия по повышению производительности водозаборных сооружений.

Увеличение разницы уровней воды в источнике водоснабжения и колодце по сравнению с первоначальными значениями, а также вынос осадка в колодец свидетельствует о засорении оголовка и подающих линий. Для устранения этих нарушений производят очистку оголовка от наносов и промывку подающих линий. Если в водоприемных отверстиях оголовка установлены решетки, их очистку производят граблями с лодок или со льда (в зимний период). В случаях, если в оголовке установлены пористые кассеты, их промывают так же, как и подающие линии - обратным током воды от насосов насосной станции первого подъема.

При заносе оголовка наносами производят его промывку водовоздушной смесью, горячей водой. При необходимости устраивают щиты, регулирующие речной поток и движение наносов.

При увеличении слоя донных осадков и достаточной глубине реки возможна установка металлического короба для увеличения порога водоприемных отверстий (рис. 1.5).

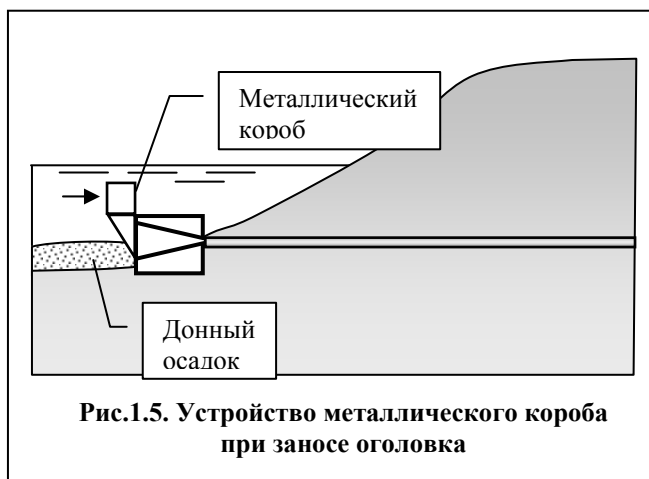


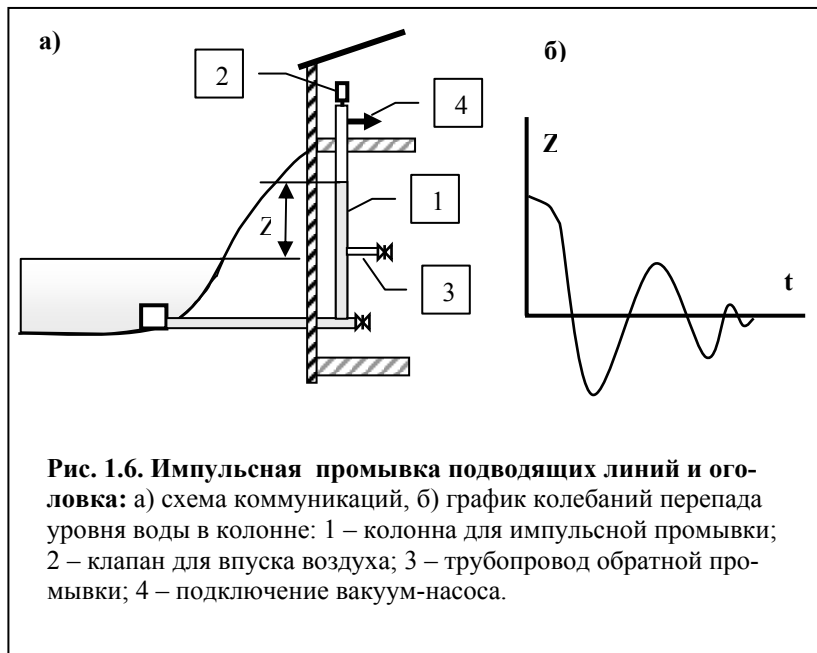
Рис.1.5. Устройство металлического короба при заносе оголовка

В этом случае отбор воды из реки осуществляется выше расположения донных наносов. Для предотвращения попадания осадка в оголовок металлический короб должен герметично прилегать к оголовку.

При вмерзании оголовка в лед устраивают круговую запань из деревянных коробов, которую сверху перекрывают матами, соломой, снегом. Такая же запань может служить и для защиты от шуги.

Подающие линии и оголовки, как отмечалось ранее, промывают обратным током воды. Однако, если эффективность обратной промывки недостаточна, прибегают к импульсной промывке (методики расчета приведены в [3]).

Для импульсной промывки в береговом колодце на каждой подающей линии устанавливается вертикальная колонна (труба), закрытая сверху, подключенная к вакуум-насосу и снабженная клапаном впуска воздуха (рис. 1.6, а). После закрытия задвижки на подводящей



трубе включают вакуум – насос. Уровень воды в колонне повышается и после ее наполнения вакуум - насос выключается. После чего открывается клапан впуска воздуха. Столб воды в колонне быстро падает, создавая волну положительного давления, воздействующей на подающие линии и оголовки. Затем столб воды по инерции проходит ниже уровня воды в реке, создавая отрицательные давления. Постепенно колебания уровня воды затухают (рис.1.6, б). При необходимости зарядку колонны повторяют.

Биообрастания пористых кассет, установленных в оголовке, удаляются предварительным хлорированием воды с вводом хлора пе-

ред водоприемными окнами (концентрация остаточного хлора $\sim 0,3$ мг/л).

При увеличении перепада уровней воды между приемным и всасывающим отделениях колодца производят промывку сеток. Плоские сетки промывают струей воды из брандспойта, для чего их поднимают в надземную часть колодца, а на их место устанавливают резервные. Вращающиеся сетки промывают водой под давлением $0,2 - 0,3$ МПа при их вращении в направлении, обратном процеживанию.

Особую опасность при эксплуатации водозаборных сооружений вызывает наличие в реке шуги, для борьбы с которой применяют специальные меры: электрообогрев решеток, подвод теплой воды или сжатого воздуха, а также устройство ковшевых водозаборов.

Повышение производительности водозаборных сооружений, как отмечалось ранее, может быть достигнуто новым строительством как отдельных элементов водозабора (оголовка, подающих линий, замена насосов), так и всего комплекса в целом. На рис. 1.7 приведен вариант расширения узла водозаборных сооружений раздельного типа при новом строительстве оголовка и сифонного трубопровода.

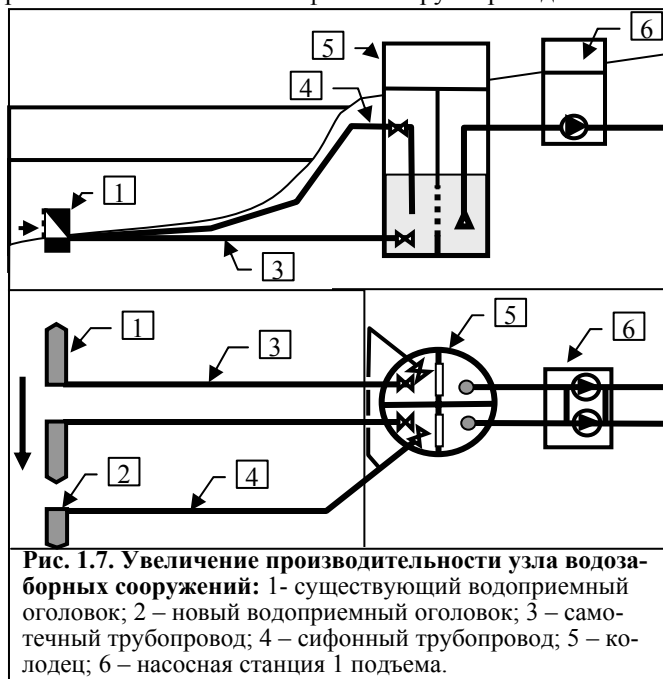


Рис. 1.7. Увеличение производительности узла водозаборных сооружений: 1- существующий водоприемный оголовок; 2 – новый водоприемный оголовок; 3 – само-течный трубопровод; 4 – сифонный трубопровод; 5 – колодец; 6 – насосная станция 1 подъема.

При строительстве нового комплекса водозаборных сооружений решают следующие вопросы:

- выбор типа водозабора;
- подбор типа водоприемника (в случае руслового водозабора);
- выбор места расположения водозабора;
- расчет отдельных элементов водозаборных сооружений, в том числе с учетом аварии;
- проверка схемы подачи воды с учетом совместной работы всех сооружений.

Контрольные вопросы

1. Каковы причины снижения производительности водозаборов из поверхностных источников?
2. Какие материалы изучают при анализе работы действующего водозабора?
3. Перечислите работы, выполняемые при обследовании водозабора.
4. Как установить необходимость промывки подающих линий и оголовка?
5. Каким образом осуществляется импульсная промывка подающих линий и оголовка?
6. Как достигается увеличение производительности всего комплекса водозаборных сооружений?
7. Где следует строить новый оголовок: выше или ниже существующего по течению реки?
8. Как определить минимальный допустимый уровень воды в приемном отделении при интенсификации?
9. Какие вопросы решаются при строительстве нового комплекса водозаборных сооружений?

2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

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

конструкции за период эксплуатации, тщательно изучают журналы эксплуатации.

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

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

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

На основании поверочного расчета выявляют сооружения или технологические процессы, являющиеся «узкими» местами станции, т.е. препятствующим увеличению подачи или улучшению качества обработанной воды. Пример поверочного расчета приведен в [4].

При определении расчетной производительности станции учитывают расходы воды на собственные нужды сооружений по данным осмотра и замеров. Методика расчета сводится к вычислению скоростей движения воды, времени пребывания при заданном расходе и замеренных габаритных размерах сооружений. Анализ результатов расчета заключается в сравнении полученных технологических параметров с нормативными. В случае несоответствия этих параметров необ-

ходимому технологическому режиму предлагают пути реконструкции с учетом последних достижений в области водоподготовки.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические параметры следует измерять при обследовании реагентного хозяйства, смесителей, камер хлопьеобразования, горизонтальных отстойников и осветлителей, фильтров?
2. Цель и объем поверочного расчета очистной станции.
3. Что такое "узкие" места очистной станции и как их установить?

2.2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ

Процесс коагуляции определяет эффективность последующего осветления и обесцвечивания воды. В последние годы считают, что от глубины осветления и обесцвечивания воды зависит степень удаления органических веществ и тяжелых металлов и бактериальная надежность питьевой воды. Совершенствование процесса коагуляции ведут по следующим основным направлениям:

1. Использование новых реагентов.
2. Оптимизация места ввода их в технологической цепочке,
3. Использование интенсивных режимов коагулирования.

Новые реагенты. Стандартным коагулянтом является глинозем – сернокислый алюминий. На ряде станций наблюдается повышенное содержание остаточного алюминия и при этом не обеспечивается необходимая степень осветления воды. Остаточный алюминий токсичен, нарушается работа нервной системы человека, поэтому его содержание в питьевой воде ограничено $0,2(0,5)^4$ мг/л[5]. Глинозем не эффективен при низких температурах, маломутных цветных водах, образует большое количество осадка, что затрудняет дозирование и работу реагентного цеха.

При выборе новых реагентов следует обращать внимание не только на эффективность процессов коагуляции и осветления и стойкость, но и возможность внедрения этих реагентов на действующей станции с минимальными затратами, учитывать вопросы последующей их поставки, удаления и утилизации образующихся осадков. Разумеется, все используемые коагулянты должны быть разрешены Министерством здравоохранения Украины для использования в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

⁴ Значение в скобках – для случаев обработки воды солями алюминия.

В настоящее время используют такие реагенты: смешанный коагулянт, основные соли алюминия - оксихлорид алюминия (ОХА), гидроксилхлорид алюминия (ГХА), гидроксилхлоридсульфата (ГХСА) и др. Эти реагенты требуют меньших доз, не изменяют рН, хорошо работают при низких температурах, уменьшают объем осадка, который легко обезвоживается, их стоимость ниже.

На смену флокулянту ПАА приходят полиэлектролиты: анионные, вводимые перед отстойниками, катионные – перед фильтрами. Некоторые из них работают совместно с коагулянтом, другие могут применяться самостоятельно.

Добавление в раствор коагулянтов порошкообразных минеральных сорбентов (клиноптилолит, бентонит, каолин) не только улучшает процесс коагуляции, но и снижает запах и привкус воды.

Физические методы интенсификации испытаны, в основном, применительно к процессам коагуляции в свободном объеме. Некоторые результаты могут оказаться полезными и для фильтрационной водоочистки. Так, наложение электрического поля ускоряет коагуляцию обработанных сернокислым алюминием мутных вод, повышает степень очистки от органических и неорганических примесей. Эффект обработки повышается с ростом концентрации взвеси и напряженности электрического поля.

Магнитная активация растворов коагулянтов позволяет улучшить качество воды по мутности и цветности на 25-40%, снизить расход коагулянта на 25-30%, повысить производительность сооружений на 19-22% [6].

Изменение режима коагулирования и точек ввода.

Известны следующие режимы коагулирования [7]: непрерывный, фракционный (дробный), концентрированный и прерывистый.

Непрерывный режим коагулирования - коагулянт постоянно вводится в воду с определенной дозой.

Фракционное или дробное коагулирование – весь потребный расход реагента вводится по частям, при этом ввод возможен в разных точках технологической схемы. Например: ввод коагулянта возможен порциями по высоте смесителя, либо частями по ходу движения потока (часть в смеситель, часть перед фильтрами); флокулянт можно вводить как перед сооружениями первой ступени очистки, так и перед фильтрами. При этом возможно снижение дозы реагента, уменьшение остаточного алюминия, улучшение качества воды и увеличение фильтроцикла.

Концентрированный режим – весь потребный расход коагулянта вводится в часть (около 25%) обрабатываемой воды, а затем смешивается с основным потоком.

Прерывистый режим – часть времени коагулянт подается, затем его подача прекращается. Такой режим возможен при контактной коагуляции. Такая технология целесообразна при вводе реагента перед фильтрами или контактными осветлителями.

Изменение набора и точек ввода реагентов также может существенно улучшить качество очистки питьевой воды. Например, иногда целесообразна корректировка pH изменением точки ввода подщелачивающего реагента. В ряде случаев ввод щелочи после коагулянта обеспечивает более глубокое обесцвечивание воды, меньшую концентрацию остаточного алюминия, экономию коагулянта. В других случаях ввод щелочи после смесителя и перед фильтрами улучшает удаление гумусовых веществ на первой ступени очистки при низких pH и способствует снижению остаточного алюминия на стадии фильтрования.

По рекомендациям НИИ КВОВ [8]:

- При обработке воды с низкой температурой наиболее эффективным является ОХА.
- В большинстве случаев применение других флокулянтов вместо ПАА является предпочтительным. Однако, характер действия различных флокулянтов неоднозначен. Использование катионных флокулянтов совместно с коагулянтом особенно целесообразно при контактном фильтровании.
- Применение тех или иных реагентов для конкретного водоисточника невозможно без проведения достаточно длительных пилотных исследований, охватывающих все периоды изменений качества воды, так как эффективность сильно зависит от свойств исходной воды.
- На одной и той же очистной станции возможно использование различных реагентов в разные сезоны;
- Условия смешения реагентов с водой является важным фактором, влияющим на эффект очистки.

Контрольные вопросы

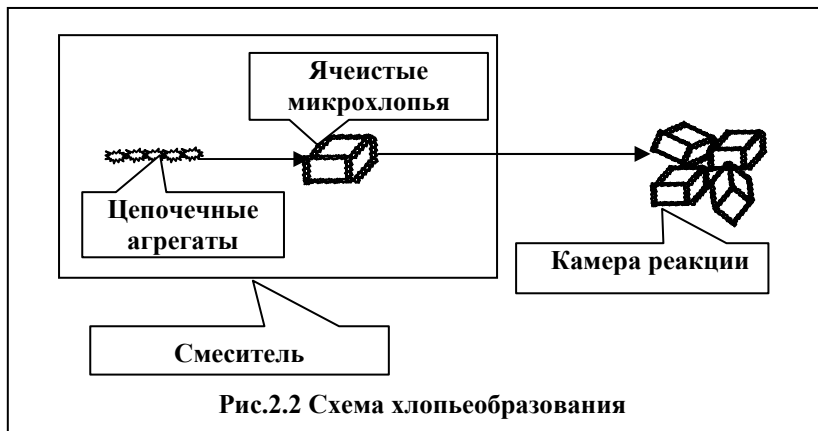
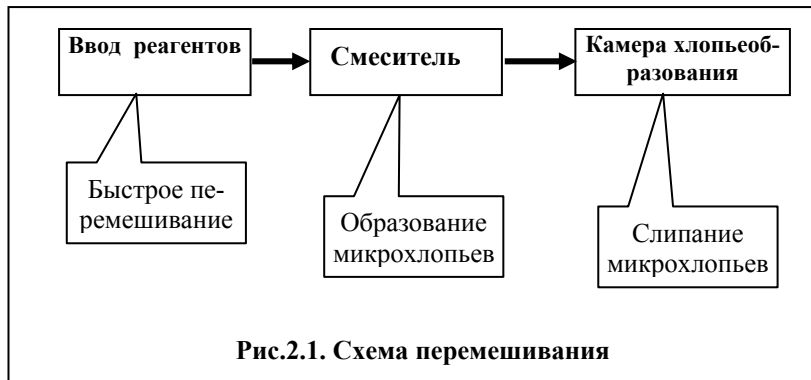
1. Назовите известные Вам виды коагулянтов и способы их использования.
2. Перечислите режимы коагулирования.
3. В каких случаях возможно прерывистое коагулирование?
4. Что дает изменение точки ввода реагента?

2.3. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СМЕШЕНИЯ

Работы последних лет в области осветления и подготовки воды показали важность процесса смешения воды с реагентами.

Перемешивание должно идти в две стадии: быстрое – в смесителе и медленное – в камере хлопьеобразования (рис.2.1).

Режим перемешивания в смесителе оказывает существенное влияние на плотность хлопьев. Вначале образуются цепочечные агрегаты первичных частиц, затем ячеистые микрохлопья, которые в камере реакции слипаются в хлопья, готовые к оседанию (рис.2.2).



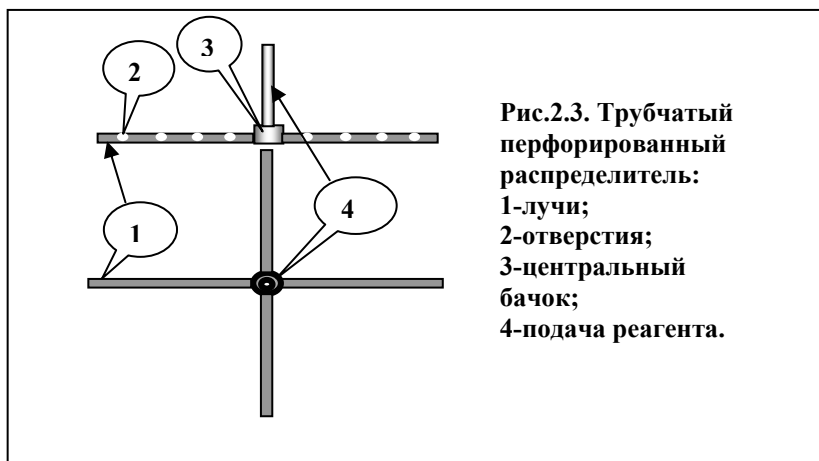
Согласно СНиП 2.04.02-84 [9] ввод реагента следует осуществлять через специальные распределители реагентов. При этом надо

иметь в виду, что распределители создают дополнительное сопротивление основному потоку воды, поэтому необходимо произвести перерасчет отметок высотной схемы сооружений.

Место установки распределителя выбирается так, чтобы выдерживать нормативное время разрыва между вводом реагентов. Такого типа устройства особенно важны при контактном коагулировании. При прямом фильтровании наличие распределителя для мгновенного перемешивания не требует смесителя.

Различают **перфорированные, струйные и диффузорные распределители реагентов** [10]. Первые используют для растворов реагентов, не содержащих примесей; вторые и третьи – для реагентов, образующих суспензии, например, известь.

Трубчатый перфорированный распределитель (рис.2.3) состоит из центрального бачка, в который радиально врезают перфорированные лучи. Реагент подают по трубе или шлангу в центр бачка. Количество лучей, отверстий и их диаметры определяют расчетом в зависимости от дозы реагента [10]. Устанавливают перфорированный



распределитель либо в трубопроводе, либо в смесителе, либо на входе в канал. Место установки зависит от необходимого разрыва времени между вводом разных реагентов.

На рис.2.4 представлен камерно-лучевой распределитель, обеспечивающий лучшее смешение реагентов с обрабатываемой водой. Распределитель состоит из камеры, внутри которой расположен циркуляционный патрубок, открытый с двух сторон. В камеру распределителя радиально врезаются перфорированные лучи, второй конец кото-

рых открыт и срезан под углом 45° . Распределитель устанавливают по оси потока. Обработываемая вода входит в циркуляционный патрубок снизу и в камере происходит первичное смешение воды с реагентом, поступающим сверху.

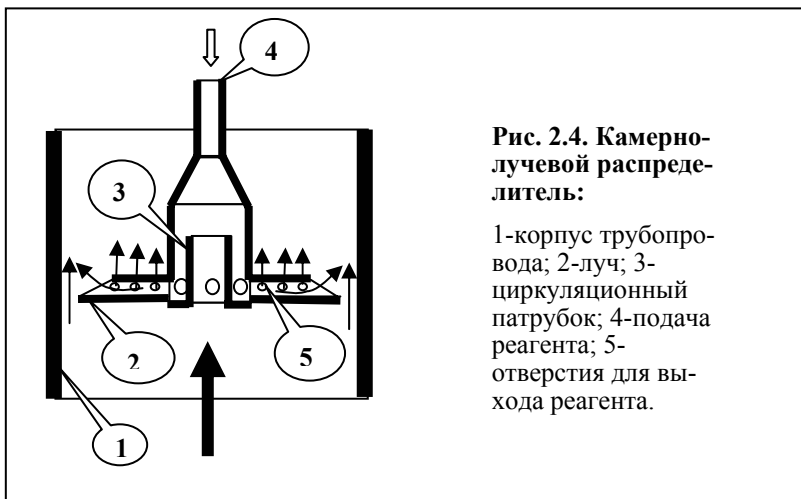
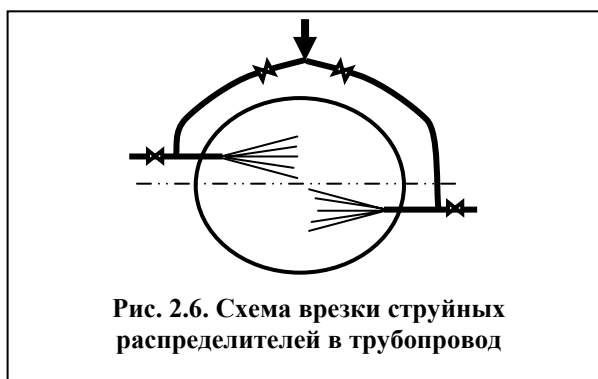
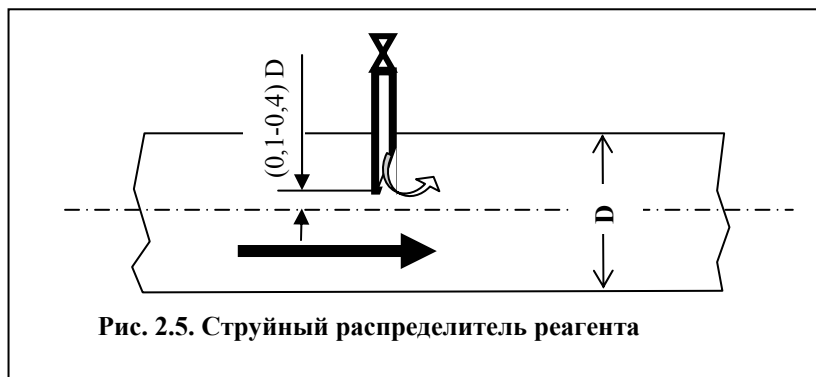


Рис. 2.4. Камерно-лучевой распределитель:

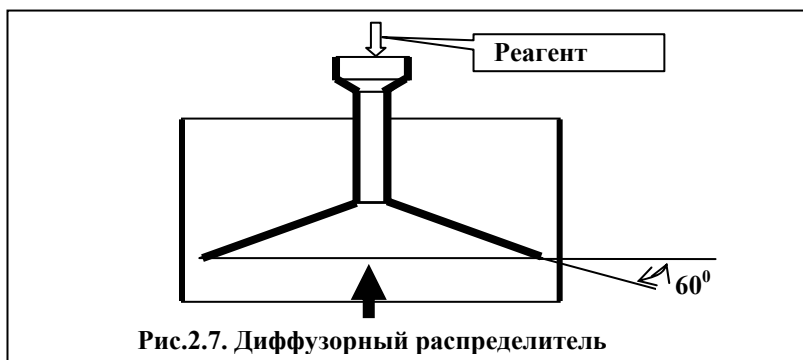
1-корпус трубопровода; 2-луч; 3-циркуляционный патрубок; 4-подача реагента; 5-отверстия для выхода реагента.

Затем эта смесь поступает в лучи и выходит в поток через отверстия и открытые концы лучей. Поскольку в месте примыкания лучей (срезанных под углом) к корпусу трубопровода возникает повышенная скорость потока, то здесь появляется дополнительное вихревое перемешивание. Камерно-лучевой распределитель рекомендуется для ввода реагентов в лоток.

При вводе реагента в поток поступающей воды с помощью **струйного распределителя** (рис.2.5) важно правильно осуществить врезку и установку патрубка подачи реагента. Срез патрубка выполняют под углом 80° и выход реагента направляют по ходу потока. Если патрубок будет развернут навстречу потоку, то возникнет дополнительное сопротивление за счет скоростного напора, препятствующее выходу реагента. В зависимости от расхода реагента в трубопровод может быть врезано от 1 до 5 струйных распределителей (рис.2.6).



Диффузорный распределитель представляет собой опрокинутую воронку, устанавливаемую по оси потока (рис.2.7).



Расчет распределителя приведен в [10].

Для интенсификации перемешивания в вихревом смесителе можно использовать загрузку либо перегородки. В качестве загрузки применяют крупнозернистый песок во взвешенном состоянии (рис.2.8).

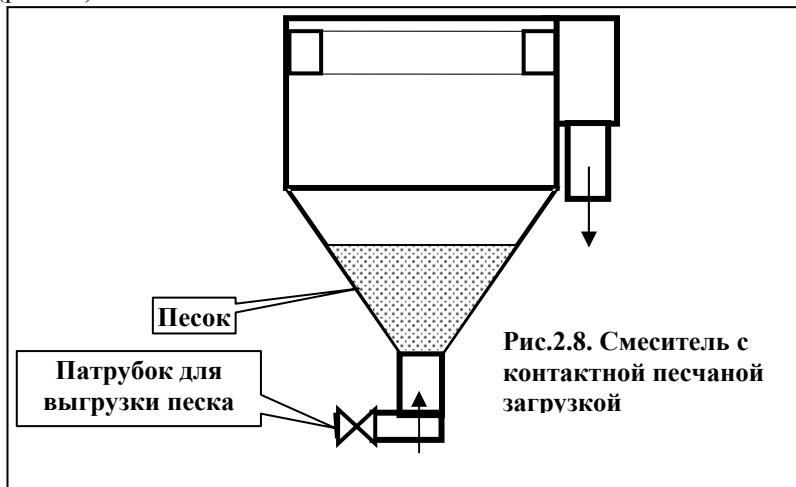


Рис.2.8. Смеситель с контактной песчаной загрузкой

Песок улучшает распределение потока по сечению смесителя и является контактной средой, улучшающей процесс коагуляции. Крупность песка подбирают, исходя из скорости поступающего потока так, чтобы песок находился во взвешенном состоянии. При этом следует иметь в виду, что при отключении смесителя необходимо предварительно выгрузить песок.

В Калининграде в смесителе смонтировали горизонтальные перегородки с отверстиями в шахматном порядке при скорости выхода 1 м/с, после чего существенно увеличился эффект отстаивания (рис.2.9).

Для своевременного удаления углекислоты применяют аэрацию в смесителях открытого типа. Необходимость аэрирования устанавливается опытным путем. Аэрация может привести к снижению потребной дозы коагулянта [10].

Другим направлением улучшения процесса перемешивания и, тем самым, совершенствования коагуляции и последующих процессов хлопьеобразования и осветления является использование механических мешалок.

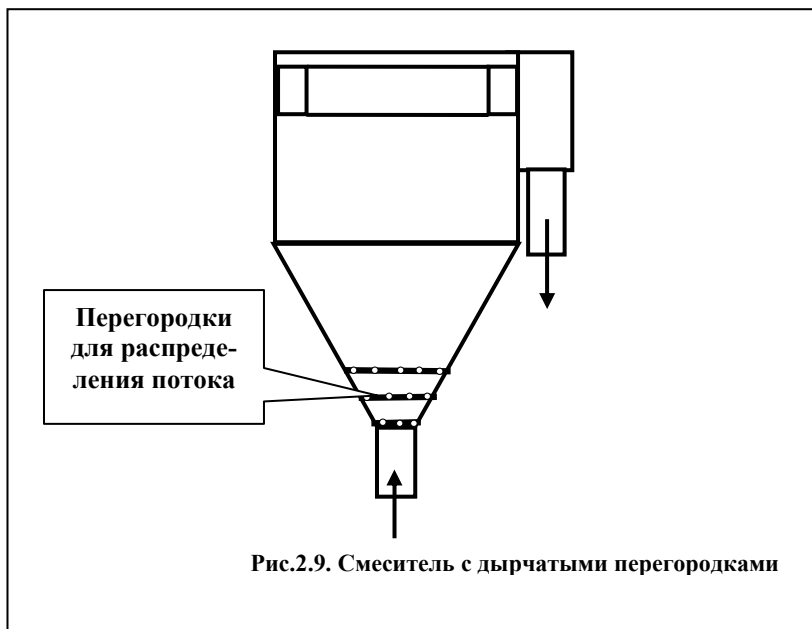


Рис.2.9. Смеситель с дырчатыми перегородками

В последние годы в связи с повышенными требованиями к качеству воды и, в частности, к снижению вторичных продуктов хлорирования большее внимание стали уделять процессу коагуляции и флокуляции. Эти процессы сегодня рассматривают не только как средство осветления и обесцвечивания воды, но и извлечения растворенных веществ, выделения металлов, нефтепродуктов, улучшения обеззараживания. По мнению специалистов фирмы «Дегремон» [11] это оказывается возможным путем перевода загрязнений в форму достаточно крупных и плотных хлопьев (флокул), которые обладали бы способностью адсорбировать растворенные соединения (органические макромолекулы и др). Гидравлические смесители и камеры хлопьеобразования не обеспечивают оптимальное протекание процессов коагуляции, поскольку не позволяют изменять режим перемешивания в зависимости от качества исходной воды и вида реагентов. Эффективность применения механического перемешивания на стадиях смешения и хлопьеобразования подтверждается зарубежным опытом и исследованиями, проведенными в последние годы НИИ КВОВ и ВНИИ ВОДГЕО (Россия).

Интенсивность смешения реагентов с водой характеризуется величиной **градиента скорости** G , с^{-1} , и критерия Кэмпбелла – GT (T – продолжительность перемешивания, с).

Градиент скорости определяют обычно по соотношению [11]:

$$G = \sqrt{N/V\eta},$$

где G – градиент скорости, с^{-1} ; N – мощность, потребляемая для перемешивания, $\text{м}^2 \cdot \text{кг} / \text{с}^3$ (Вт); V – объем, занимаемый водой, м^3 ; η – динамическая вязкость воды, $\text{кг} / (\text{м} \cdot \text{с})$.

Следует отметить зависимость градиента G от температуры воды в обычном интервале ее значений.

Градиент скорости является одним из важнейших параметров, величина которого должна быть оптимальной как с точки зрения формирования флоккул, так и с точки зрения их сохранения в потоке обрабатываемой воды, поступающей на осветление. Обычно его величина составляет около 400 с^{-1} (иногда до 1000 с^{-1}) на этапе коагуляции и примерно 100 с^{-1} на этапе флокуляции.

Другим не менее важным параметром является **продолжительность коагуляции и флокуляции**, которая определяется свойствами воды, ее температурой, содержанием коллоидных загрязнений, ингибирующих веществ и т.п. При этом исключительно важен интервал между моментом завершения коагуляции и введением флокулянта (от 10 с до 5 мин в зависимости от свойств воды и ее температуры).

Критерий Кэмпбелла – безразмерное произведение GT , характеризующее скорость формирования хлопьев (T – время пребывания в смесителе, с). По данным различных исследователей, средние значения критерия Кэмпбелла для смесителей составляют $5 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3$. Но, как отмечает Е.Д. Бабенков [12], на этот критерий можно ориентироваться только в условиях работы с одним и тем же реагентом и водой одного и того же состава. С изменением качества исходной воды GT может сильно отличаться от средних значений. Это мнение разделяют и другие специалисты [11,13].

Следует учитывать, что слишком интенсивное и длительное перемешивание воды в смесителе может привести к необратимому разбиванию микрохлопьев, резкому ухудшению адгезионных свойств взвеси и замедлению последующего хлопьеобразования. Так, в [13] отмечается, что при $G=180 \text{ с}^{-1}$ наблюдалось ухудшение качества отстойной воды. Поэтому рекомендуется интенсивность быстрого перемешивания реагента с водой определять для воды конкретного во-

доисточника и регулировать при изменении качества исходной воды и условий ее обработки.

Механическое перемешивание можно применять для любых технологических схем. Однако, по литературным данным особенно важно регулирование процессом коагуляции и флокуляции в схемах с горизонтальными отстойниками и при прямом (контактном) фильтровании. Параметры для расчета механических смесителей и камер хлопьеобразования следует определять на основании пилотных исследований обрабатываемой воды. Ориентировочные значения критерия Кэмпбелла в зависимости от мутности и цветности приведены в [14] по данным исследований МГСУ (бывший МИСИ). Методика расчета дана в справочнике [15].

Механический смеситель представляет собой емкость, в которой установлена мешалка и струенаправляющая перегородка. Рекомендуется использовать лопастные мешалки с вертикальным валом и регулируемым приводом (рис.2.10).

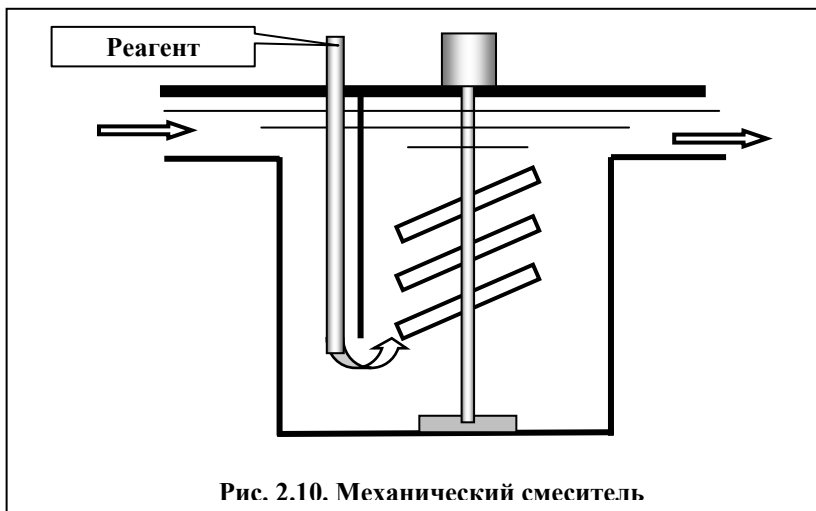
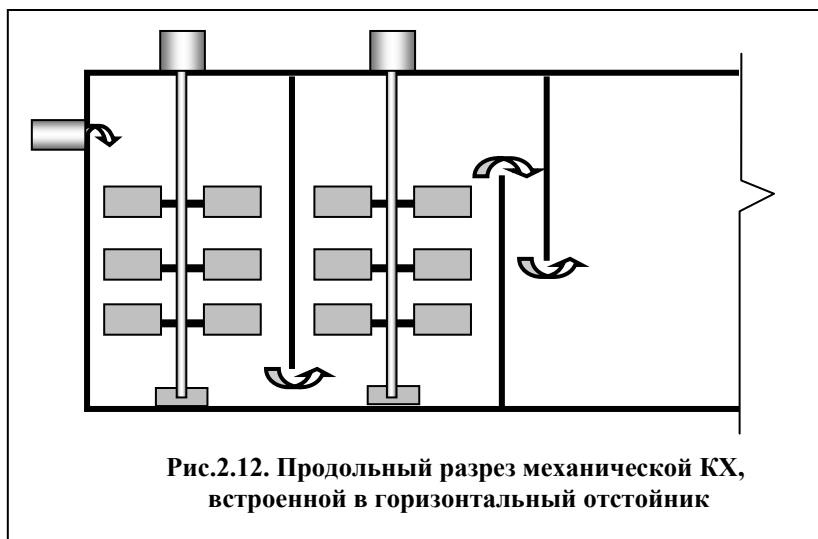
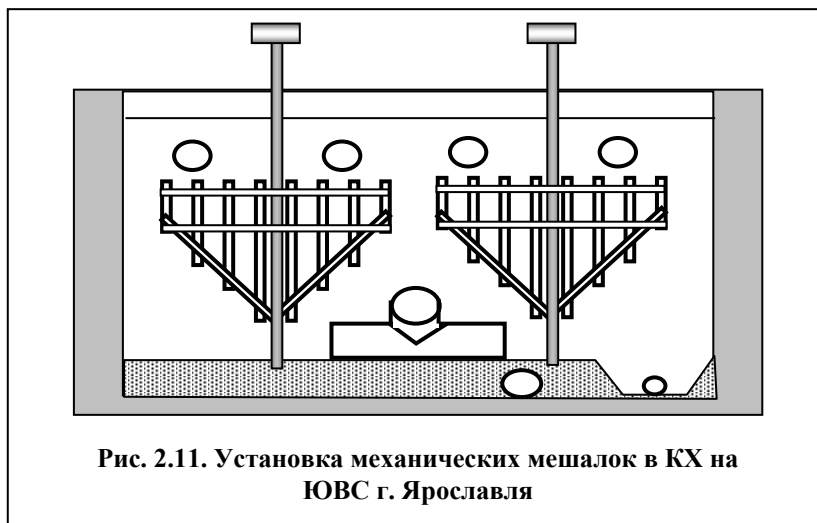


Рис. 2.10. Механический смеситель

Реконструкция камер хлопьеобразования (КХ) в флокулятор (механическую камеру хлопьеобразования) заключается в установке мешалок с регулируемым приводом. Число мешалок принимают по данным пилотных исследований от 3 до 5. Как правило, мешалки располагают в два ряда по ширине КХ (рис.2.11). Для циркуляции воды по длине камеры устанавливают перегородки (рис.2.12).



В работах [11, 13, 16–18] отмечено, что механическое перемешивание обеспечивает:

- повышение эффективности процесса осветления воды на 70%, причем около 20-50% - быстрым перемешиванием лопастной мешалкой в

смесителе и 50-70% - за счет медленного перемешивания объемными мешалками в камере хлопьеобразования;

- улучшение качества осветленной воды по мутности и остаточному алюминию;
- повышение производительности отстойника на 30%;
- сокращение расхода коагулянта примерно на 20-30%;
- повышение технико-экономических показателей процесса фильтрования и уменьшение объема осадка.

Контрольные вопросы

1. Назовите способы интенсификации смешения воды с реагентами.
2. В каких случаях используют перфорированные, струйные и диффузорные распределители реагентов?
3. Какой следует применить распределитель при вводе извести?
4. Схема установки распределителя реагентов в вихревом смесителе, контактной камере.
5. Когда следует применять аэрацию в смесителе?
6. Что такое градиент скорости?
7. Преимущества механических смесителей перед гидравлическими.
8. Влияет ли интенсивность перемешивания на продолжительность фильтроцикла?

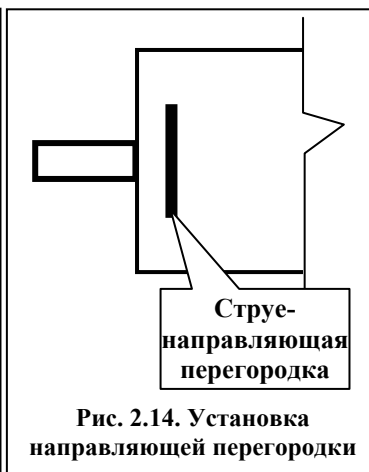
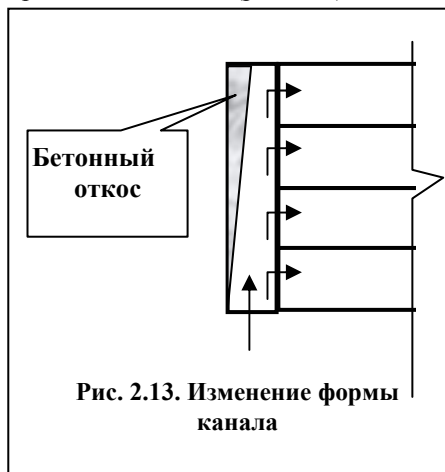
2.4. ОСВЕТЛЕНИЕ, ОТСТАИВАНИЕ

Основные способы интенсификации работы сооружений первой ступени очистки воды следующие:

1. Улучшение равномерности распределения воды по сечению сооружения.
2. Использование контактной загрузки.
3. Применение механических камер хлопьеобразования (рассмотрено в разд. 2.3).
4. Установка тонкослойных модулей (ТМ).
5. Рециркуляция осадка.
6. Совместное использование рециркуляторов и ТМ.
7. Усовершенствование систем удаления осадка.
8. Реконструкция отстойников (осветлителей) во флотаторы.

Улучшение равномерности распределения подачи и сбора воды

Эффект осветления в отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка существенно зависит от равномерности работы систем распределения и сбора воды. Оценка работы последних осуществляется по коэффициенту объемного использования либо путем отбора проб воды в разных точках по площади или высоте сооружения и определения в них, например, щелочности (при коагулировании воды щелочность изменяется пропорционально введенной дозе коагулянта, поэтому при равномерном распределении потока щелочность примерно одинакова). Существует несколько способов улучшения равномерности распределения воды. На рис.2.13 показано устройство бетонного откоса в подающем канале горизонтальных отстойников для выравнивания расходов отдельных секций. При точечной подаче воды в сооружение улучшить равномерность входа можно установкой струенаправляющей перегородки (рис.2.14).



В горизонтальных отстойниках с вихревыми камерами хлопьеобразования при отводе воды желобами наблюдается нарушение работы отстойника. Для отклонения потока вниз и, тем самым, улучшения равномерности подачи следует устанавливать подвесную стенку (рис.2.15).

Использование контактной загрузки не только способствует равномерному распределению потока, но и улучшает процесс формирования хлопьев.

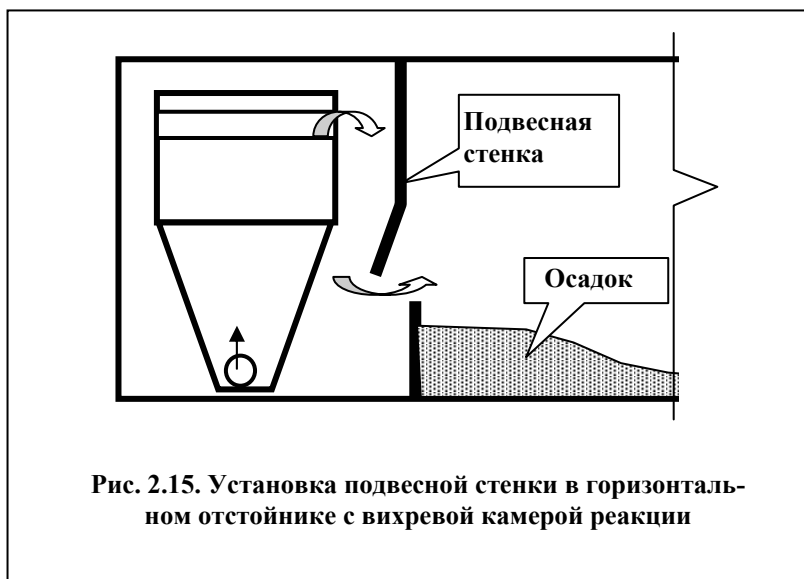
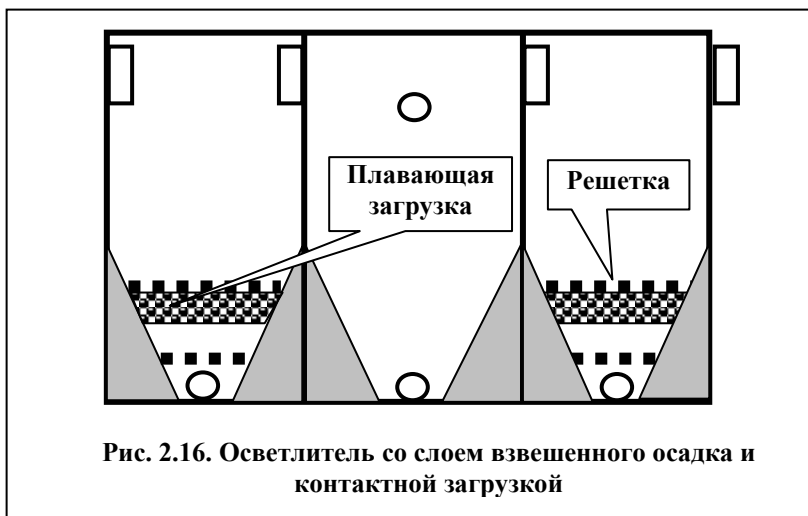


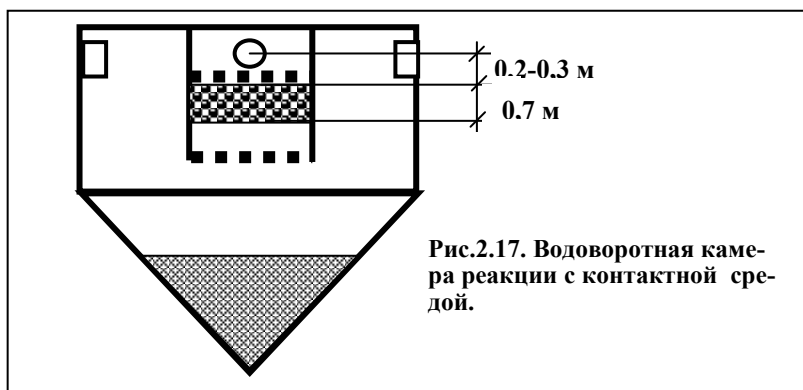
Рис. 2.15. Установка подвесной стенки в горизонтальном отстойнике с вихревой камерой реакции

Первоначально в качестве контактной среды использовали гравий, который загружали на распределительную систему камеры реакции со слоем взвешенного осадка. При этом существенно улучшался эффект отстаивания. Однако с течением времени было отмечено ухудшение микробиологических показателей качества воды. Предполагалось, что хлопья будут образовываться на поверхности гравия и смываться восходящим потоком. Но оказалось, что полного смыва не происходит. Для промывки пришлось останавливать отстойник и вручную промывать гравийную загрузку. Поэтому позднее в качестве контактной среды стали использовать плавающую крупнозернистую загрузку. Контактную загрузку располагают в зоне распределения в рабочих коридорах осветлителей со слоем взвешенного осадка (рис.2.16), в камерах хлопьеобразования. Промывка такой загрузки осуществляется путем сброса воды из осветлителя, во время которого загрузка расширяется вниз.

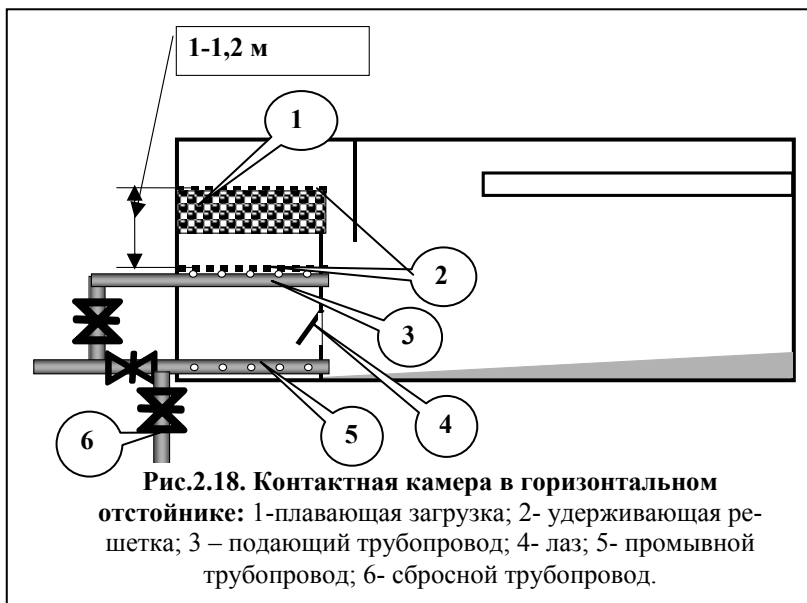
Параметры для расчета таких сооружений приведены в [10]. При проектировании надо обратить внимание на создание удерживающей решетки, рассчитанной на силу всплытия плавающей загрузки, и на предотвращение уноса при промывке через распределительную систему.



На рис.2.17 показана водоворотная камера хлопьеобразования, в которой устанавливаются две удерживающие решетки. Между ними располагается плавающая загрузка крупностью 20-30 мм высотой 700 мм.



При реконструкции горизонтального отстойника (рис.2.18) монтируют дополнительную систему подающих трубопроводов и сбросной трубопровод для промывки контактной загрузки.



Установка тонкослойных модулей. Известно, что уменьшение высоты зоны осаждения приводит к увеличению эффекта отстаивания воды. Принципиальная схема тонкослойного отстойника дана на рис.2.19.

При малой высоте потока существенно сокращается длина траектории, на которой выпадают частицы. Выпавшие в осадок частицы благодаря наклону модуля⁵ сползают на дно отстойника. Кроме того, из-за малой толщины потока он ламинаризуется, что также способствует повышению эффекта очистки.

В настоящее время существуют фирмы, поставляющие тонкослойные модули (ТМ) различной конфигурации. Увеличение производительности при их использовании возможно в 1,5–2 раза. Однако следует иметь в виду, что эффективность работы ТМ зависит и от таких факторов, как качество подготовки хлопьев, поступающих на осаждение, равномерности сбора и распределения воды, надежности системы удаления осадка. Поэтому при реконструкции осветлителей или

⁵ Угол наклона принимается обычно равным примерно 60°, что соответствует углу естественного откоса коагулированного осадка природных вод.

отстойников необходимо повысить эффективность хлопьеобразования, увеличить коэффициент объемного использования этих сооружений. Накопление осадка под ТМ может привести к резкому ухудшению качества отстойной воды.

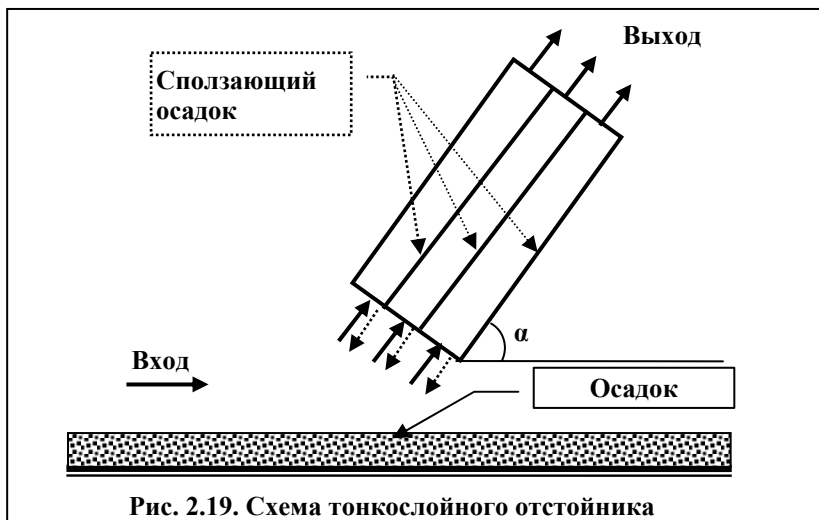


Рис. 2.19. Схема тонкослойного отстойника

При реконструкции следует учитывать следующие рекомендации:

- высота защитной зоны от осадка до модуля в вертикальном отстойнике – 1,5м, в горизонтальном – 1м;
- высота зоны сбора осветленной воды не менее 0,4-0,5 м;
- необходимо обеспечить равномерность сбора и распределения воды по всей площади установки модулей;
- следует проверить систему и периодичность сброса осадка, ибо его накопление под ТМ ухудшит их работу;
- при установке ТМ в горизонтальных отстойниках надлежит принимать меры к улучшению процесса хлопьеобразования;
- в ряде случаев необходимо устанавливать вертикальные перегородки для устранения горизонтальных перетоков;
- промывка ТМ должна производиться не реже 1 раза в месяц;

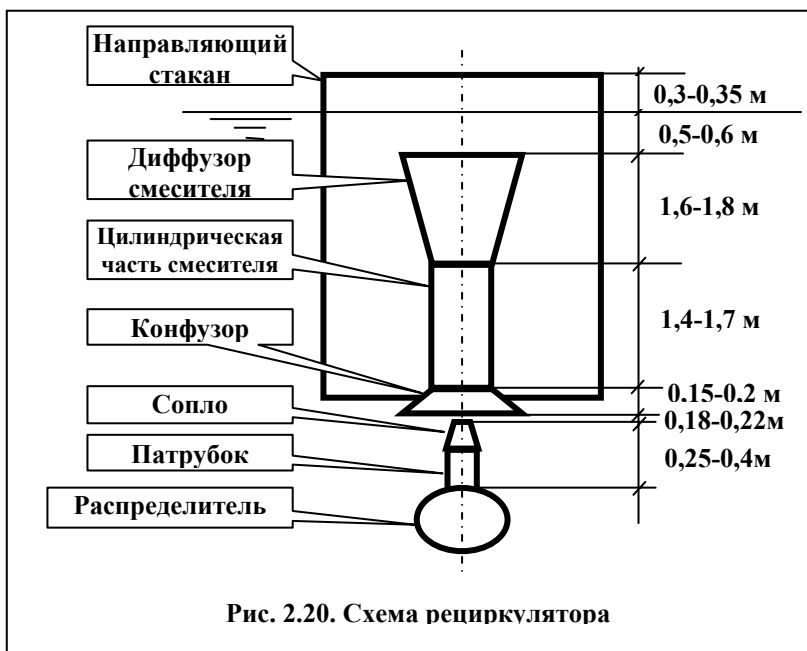
ТМ, устанавливаемые в зоне взвешенного осадка в рабочих коридорах осветлителей либо в камерах хлопьеобразования, обеспечивают равномерное распределение осветляемой воды и увеличивают коэффициент объемного использования до 0,9-0,92 (обычно 0,65-0,7). Соответственно улучшается качество осветленной воды и увеличива-

ется производительность в 1,3-1,7 раза. По сравнению с традиционной флокуляцией в объеме, взвешенный слой, образованный в замкнутом пространстве ТМ, характеризуется более высокой концентрацией твердой фазы и устойчивостью к изменениям качества исходной воды и нагрузки на сооружения.

В последние годы иногда рекомендуют устанавливать два ряда ТМ: над распределительной системой и под окнами в осадкоуплотнителе, что увеличивает периодичность сброса осадка и уменьшает расход сбрасываемой воды, при этом повышается плотность осадка.

На реках с высокомутными водами возможно устройство плавающего водозабора с тонкослойными модулями.

Рециркуляция осадка. В периоды низкой температуры и малой мутности сырой воды для стабилизации взвешенного фильтра и улучшения процесса коагулирования было предложено искусственное замутнение воды. Первоначально осадок из зоны уплотнения насосом подавали в трубопровод подачи воды на сооружение. В настоящее время в осветлителях и камерах реакции устанавливают рециркуляторы (рис.2.20).



Основные рекомендации для проектирования:

1. Зона действия рециркулятора осадка (расстояние между рециркуляторами) – 3-3,5 м.
2. Скорости движения воды: в распределителе – 0,5 м/с, в патрубке – 1,3 м/с, выхода из сопла – 2 м/с, в зазоре и на выходе из направляющего аппарата не более 0,5 м/с.
3. Потери напора в эжекторе – 0,15-0,2 м.
4. Диаметр цилиндрической части смесителя 2,5-2,8 диаметра патрубка; диаметр конфузора 1,2-1,25 диаметра цилиндрической части.
5. Высота взвешенного фильтра осветлителя от низа направляющего аппарата до кромки осадкоприемного окна - 1,8-2,2 м [19].

Рециркуляторы монтируют в зоне взвешенного фильтра в осветлителях со слоем взвешенного осадка либо в камерах реакции, встроенных в горизонтальные отстойники. Установка рециркуляторов позволяет увеличить производительность на 30-60%.

В последние годы для улучшения работы первой ступени осветления **используют рециркуляторы и ТМ совместно** в камерах хлопьеобразования и осветлителях со слоем взвешенного осадка. В г. Нижнекамске применили тонкослойно-эжекционные камеры. При этом происходит возврат в осветляемую воду наиболее адгезионно-активных хлопьев.

Рециркуляторы низконапорные: скорость на выходе из сопла 1-5 м/с, напор до 6 м. ТМ устанавливают над рециркуляторами на высоте не менее 0,8-1,0 м. Рециркуляторы в этом случае выполняют малогабаритными, без направляющего стакана (рис. 2.21).

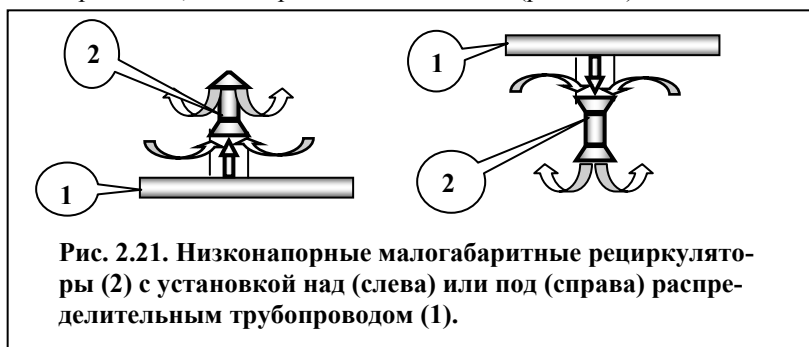


Рис. 2.21. Низконапорные малогабаритные рециркуляторы (2) с установкой над (слева) или под (справа) распределительным трубопроводом (1).

Создание ТМ, рециркуляторов, контактного хлопьеобразования привело к разработке новых конструкций камер хлопьеобразования:

- контактных;
- тонкослойных;
- тонкослойно-эжекционных;
- рециркуляционных.

Ниже приведены современные конструкции осветлителей со слоем взвешенного осадка и горизонтальных отстойников. На рис. 2.22 показан осветлитель коридорного типа с принудительным отсосом осадка.

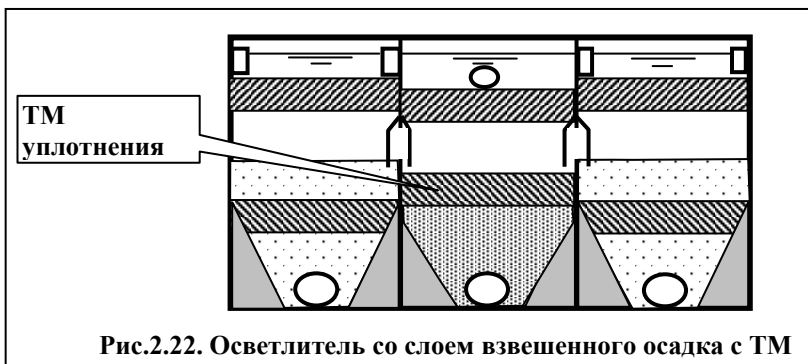
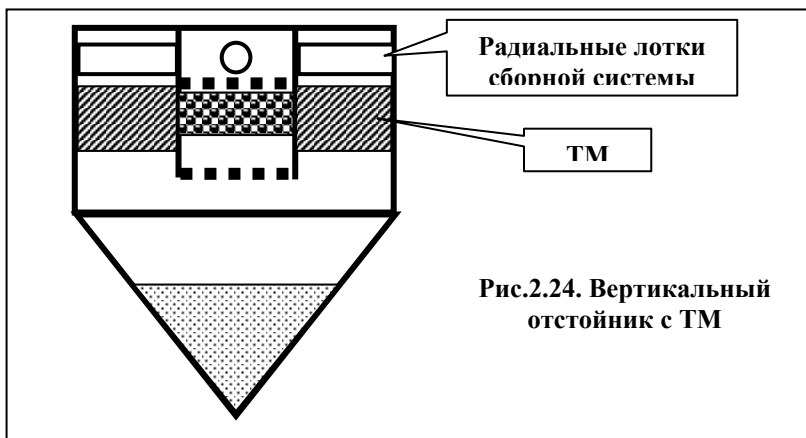
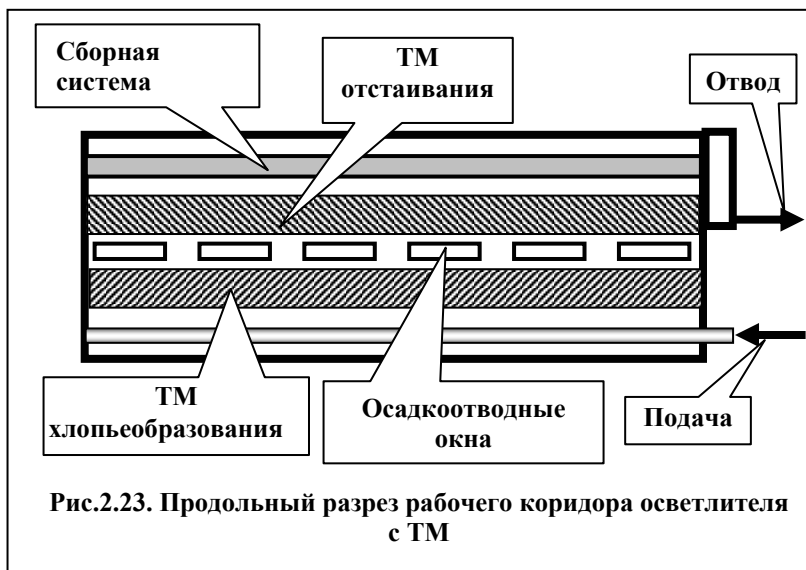


Рис.2.22. Осветлитель со слоем взвешенного осадка с ТМ

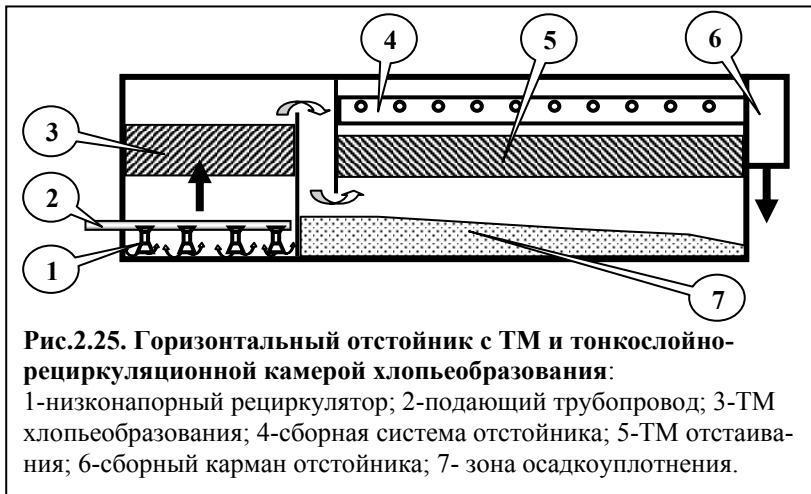
В рабочих коридорах смонтированы ТМ хлопьеобразования в зоне распределения потока, в защитном слое – ТМ отстаивания (рис. 2.23), что обеспечивает стабильную работу взвешенного фильтра, слабо зависящую от колебаний качества сырой воды. В осадкоуплотнителе также установлены ТМ: в зонах осветления воды и уплотнения осадка. Верхние ТМ улучшают разделение воды и хлопьев взвеси, нижние способствуют повышению плотности осадка и тем самым снижению нагрузки на сооружения по обработке осадка.

Водоворотные камеры реакции, встроенные в вертикальные отстойники, можно реконструировать в контактные в условиях обработки маломутных холодных вод (рис. 2.24). Подачу воды осуществляют точно. Устанавливают две поддерживающие решетки, между которыми загружают плавающий зернистый материал. При сбросе осадка из отстойника одновременно происходит промывка этой плавающей загрузки.



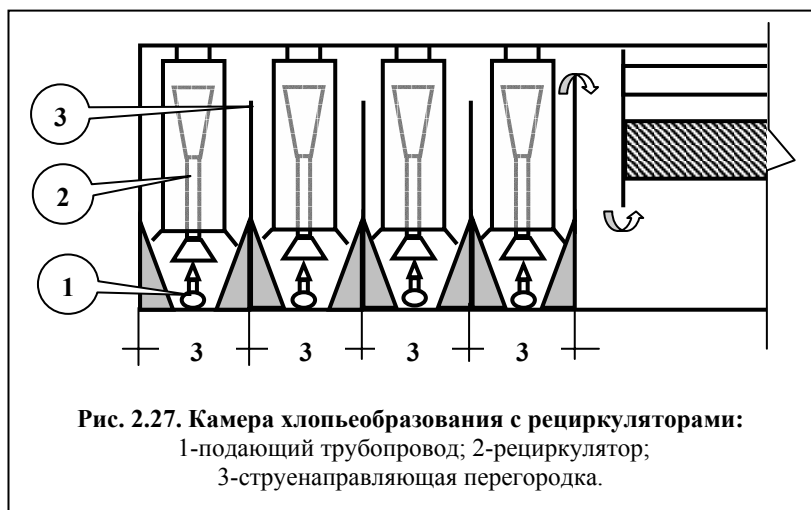
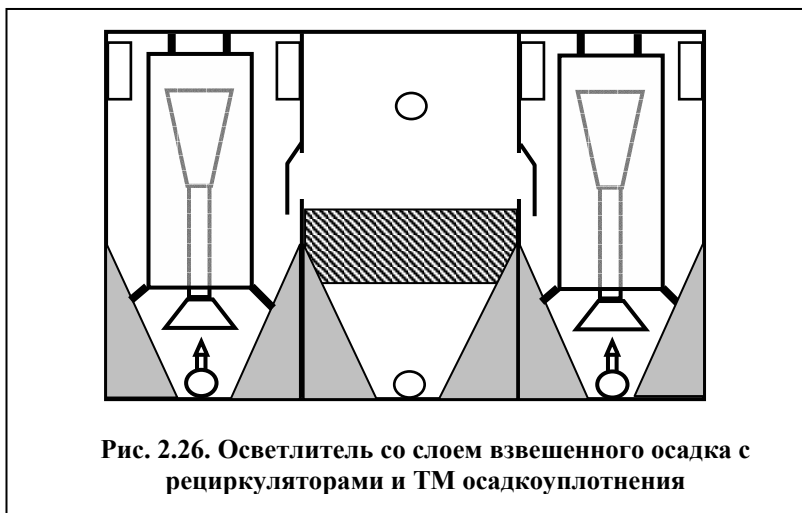
На рис. 2.25 изображен горизонтальный отстойник с ТМ и встроенной тонкослойно-эжекционной камерой хлопьеобразования.

В подающий трубопровод врезают патрубки с соплами, соосно с которыми монтируют низконапорные рециркуляторы. На расстоянии не менее 0,8-1,0 м располагают ТМ хлопьеобразования. Сбор отстойной воды выполняют по всей площади отстойника, что обеспечивает равномерное распределение воды между ТМ отстаивания. Подвесная стенка должна быть ниже ТМ отстаивания. Низ ТМ в зоне осветления следует располагать не ближе 1,0 м от верха осадка [10].

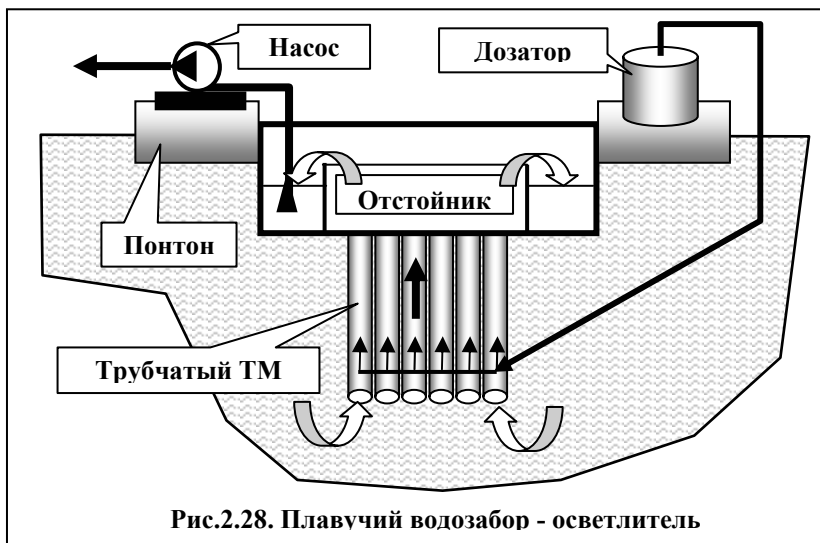


Известно, что осветлители со слоем взвешенного осадка весьма чувствительны к колебаниям качества сырой воды и производительности. Для увеличения стабильности работы осветлителей в рабочих коридорах устанавливают рециркуляторы (рис. 2.26). Монтаж ТМ в зоне уплотнения осадка позволит уменьшить влажность сбрасываемого осадка.

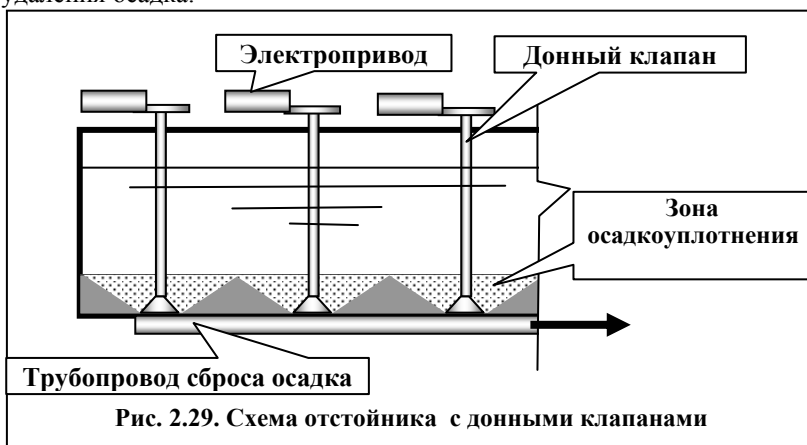
На рис. 2.27 приведена камера реакции зашламленного типа, в которой смонтированы рециркуляторы. При этом требуется реконструкция распределительной системы: дырчатые распределители заменяют трубопроводом с соплами, соосно с которыми монтируют рециркуляторы.



На реках с высокомутными водами возможно устройство плавающего водозабора с тонкослойными модулями (рис. 2.28) [8].



Реконструкция систем удаления осадка. Дырчатые системы для удаления осадка не всегда обеспечивают достаточную продувку отстойников. В этих случаях рекомендуются донные клапаны либо напорный гидросмыв. Применение донных клапанов требует реконструкции днища сооружения. В дне отстойника устраивают опрокинутые бункеры (рис. 2.29), под которыми прокладывают лоток или трубу для удаления осадка.



Управление донными клапанами выводят на перекрытие отстойника, что требует устройства коридора для обслуживания.

Система гидросмыва [10] рекомендуется при обработке мутных вод. При ширине отстойника 6 м укладывают три трубы (рис. 2.30), в которых монтируют насадки через 1 м, а в конце (1/4 длины)- через 1,5 м.

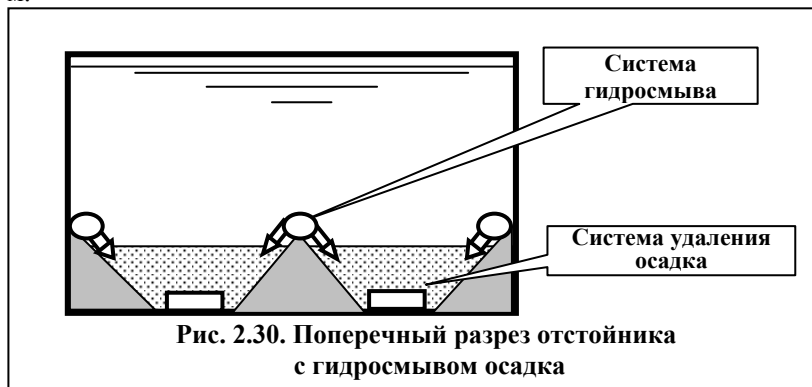


Рис. 2.30. Поперечный разрез отстойника с гидросмывом осадка

Насадки бронзовые, диаметр сопла 10 мм, длина 60 мм. Для типового отстойника шириной 6 м и длиной 45 м необходим насос производительностью 270 л/с напором 60-70 м. Для смыва осадка можно использовать сырую воду либо промывную воду скорых фильтров.

Флотация. Для маломутных цветных вод, а также при наличии фито- и зоопланктона возможна реконструкция отстойников во флотаторы [10]. Флотация менее чувствительна к изменению качества воды, лучше удаляются микроорганизмы, в 2-3 раза меньше потери воды. При флотации можно использовать озон, достигая одновременно и дезодорации. Однако здесь требуется установка компрессоров, и могут возникнуть сложности с удалением шлама-пены.

Контрольные вопросы

1. Перечислите способы интенсификации осветлителей со слоем взвешенного осадка, отстойников.
2. Каковы возможные причины несоответствия расчетной и фактической скоростей движения воды в камерах хлопьеобразования, отстойниках, осветлителях?
3. Как улучшить равномерность распределения и сбора воды в горизонтальном отстойнике?

4. Что может служить причиной низкого коэффициента объемного использования сооружений?
5. Начертите схемы камер хлопьеобразования с контактной средой.
6. Принцип осветления воды в тонком слое.
7. Начертите схему установки тонкослойных модулей в отстойниках и осветлителе.
8. С какой целью тонкослойные модули устанавливают в зоне осадкоуплотнения осветлителей со слоем взвешенного осадка?
9. Назовите способы улучшения сброса осадка из горизонтального отстойника.
10. В каких случаях целесообразно использование рециркуляции осадка? Схема рециркулятора.
11. Назовите преимущества системы донных клапанов перед гидравлическим способом удаления осадка из отстойников.

2.5. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Фильтрация через зернистый слой повсеместно используется как завершающий способ разделения суспензий при подготовке воды для коммунального, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения. На водоочистных станциях фильтры – наиболее дорогие и сложные сооружения. Исследователи многих стран долгое время изучают фильтрационный процесс и способы его интенсификации. Эта проблема актуальна и сейчас.

Можно предложить следующую классификацию методов и средств интенсификации работы фильтровальных сооружений [20]:

1. Фильтрация в направлении убывающей крупности зерен.
2. Фильтрация с уменьшающейся по ходу потока скоростью.
3. Фильтрация с уменьшающейся во времени скоростью.
4. Использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью.
5. Совершенствование способов и режимов предварительной реагентной обработки воды.
6. Повышение эффективности процесса регенерации загрузки.
7. Совершенствование конструкций элементов фильтра.

2.5.1. Фильтрация в направлении убывающей крупности зерен

Основное преимущество этого способа заключается в том, что загрязнения глубже проникают в слой, в результате чего увеличивается степень использования грязеемкости загрузки, уменьшается темп прироста потерь напора. Метод реализован в конструкциях двух- и многослойных фильтров, контактных осветлителей, двухпоточных и двухступенчатых фильтров.

В двухслойных фильтрах долгие годы использовалась загрузка из антрацита и кварцевого песка. Появление новых фильтрующих материалов значительно расширяет возможности применения таких фильтров. Так, керамзит в качестве верхнего слоя рекомендуется СНиП 2.04.02-84 [9]. Двухслойные фильтры в схемах с предварительным отстаиванием эффективны при обработке воды с преимущественным содержанием минеральных примесей. Серьезные затруднения возникают при очистке маломутных высокоцветных холодных вод. Здесь, вследствие "вялой" коагуляции, из отстойников на фильтры выносятся хлопья гидрооксида алюминия или железа с малой адгезионной активностью.

Не всегда удачен опыт применения прямоточных фильтров, на которые вода поступает без предварительного отстаивания. Здесь, в случае образования хлопьев в надзагрузочном слое, преимущества двухслойных фильтров теряются из-за неодинакового времени поступления воды на различные участки загрузки. Так, на фильтре площадью 40 м^2 такая разница по времени достигает 15-20 мин. Адгезионная активность гидрооксида алюминия (железа) быстро снижается в первые 30 мин. В результате различные участки площади фильтра кольматируются по-разному. Ликвидация гидродинамических неоднородностей за счет различных дополнительных сопротивлений улучшает работу фильтров.

Известен положительный опыт работы многослойных фильтров. Ж. Ланглин, Т. Дувал исследовали антрацито-кварцево-гранатовую загрузку (плотности – 1,5 - 2,6 - 3,9 г/см³), С. Моханка описал работу пятислойного фильтра (полистирол-антрацит-кварц-гранат-магнетит), В. Конлей в качестве наиболее тяжелого слоя использовал ильменит (плотность 4,2 г/см³). Е. Г. Петровым исследованы работы трехслойных фильтров с загрузкой из полистирола, керамзита, кварцевого песка. Главным препятствием в использовании таких фильтров являются трудности в подборе фильтрующих материалов с заданной гранулометрией.

Наиболее удачно преимущества фильтрования в направлении убывающей крупности реализуются в контактных осветлителях с восходящим потоком воды и загрузкой большой неоднородности. Контактные осветлители, предложенные в СССР в 1953 г., широко применяются в отечественной и зарубежной практике. В настоящее время успешно эксплуатируются станции производительностью до 1 млн. м³/сут. За счет эффективного использования грязеемкости неоднородной загрузки эти сооружения работают при мутности обрабатываемой воды до 100-150 мг/л и цветности до 190 градусов. Применение флокулянтов расширяет эту границу до 300 мг/л[23].

Меньшее применение в практике получили двухпоточные фильтры АКХ, предложенные в 1949 г. Здесь очищаемая вода фильтруется одновременно сверху и снизу и отводится дренажом, расположенным в толще загрузки. Производительность фильтров АКХ в 1,5-2 раза выше, чем однослойных фильтров и контактных осветлителей. Недостатками этих сооружений являются несовершенство дренажа, расположенного в толще мелкозернистой загрузки, а также сложность конструкции и эксплуатации. Применение в двухпоточных фильтрах двухслойной загрузки, пористых дренажей открывает новые возможности их высокоэффективного использования.

Фильтрование в направлении убывающей крупности зерен успешно реализуется также в двухступенных фильтрах – в фильтрах первой ступени крупность выше, чем во второй (рис.2.31).

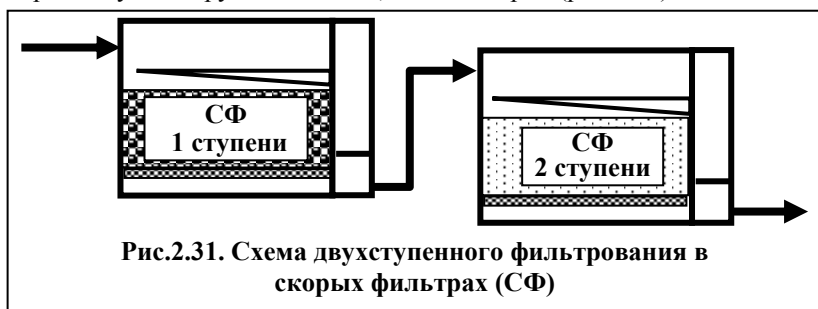


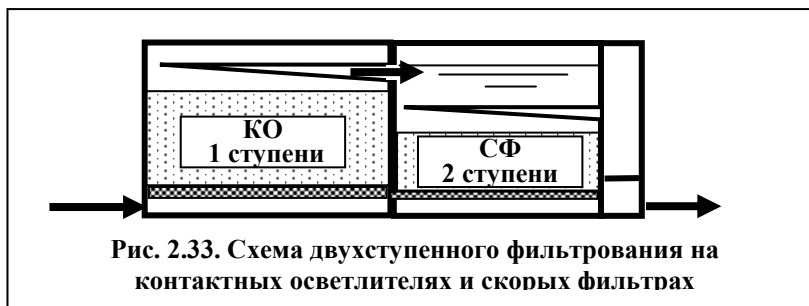
Рис.2.31. Схема двухступенного фильтрования в скорых фильтрах (СФ)

Обычно такую схему используют при больших грязевых нагрузках, когда одноступенчатое фильтрование неэффективно, а отстойники (или осветлители со взвешенным осадком) работают плохо. Для очистки мутных вод (200-1000 мг/л) используют несколько независимых групп двухступенных фильтров; каждая из них промывается при ухудшении качества фильтрата на второй ступени, фильтры работают со скоростью фильтрования 6-10 м/ч.

Применение двух ступеней контактных осветлителей с крупно- и мелкозернистой загрузками позволило очищать высокомутные воды (до 1500 мг/л) без использования коагулянтов: скорости фильтрования на первой и второй ступенях соответственно 3 и 1,5 м/ч, продолжительность фильтроцикла – 72-96 ч (рис.2.32) [23].



Для очистки высокоцветных, маломутных холодных вод (мутность не более 250-300, цветность не более 150-200) разработана схема двухступенчатого фильтрования: первая ступень - контактные осветлители, эксплуатирующиеся за пределами времени защитного действия загрузки, а вторая ступень – скорые фильтры с нисходящим потоком (рис.2.33).



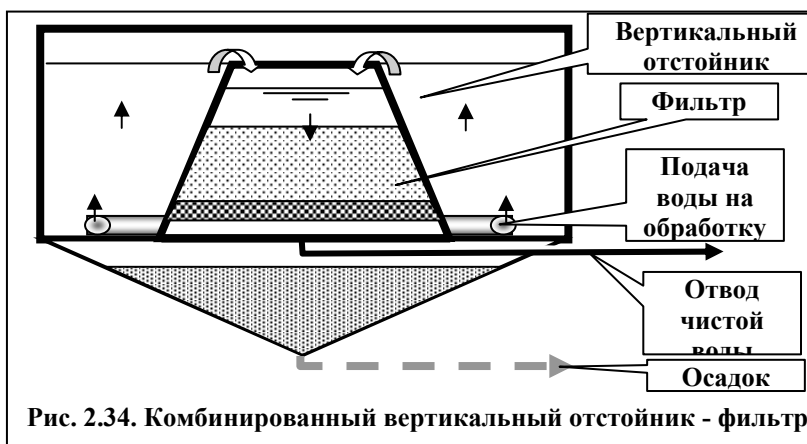
Известно, что первые 15-30 см загрузки быстро прекращают очищать воду до питьевых кондиций, однако они долго продолжают задерживать основную часть загрязнений - пассивные зоны загрузки имеют в несколько раз большую емкость, чем активные зоны. Большая грязеемкость фильтров первой ступени позволяет увеличить скорость фильтрования или удлинить фильтроцикл. Двухслойные фильтры второй ступени работают в более благоприятных условиях; адгезионная активность хлопьев гидроксида алюминия (железа), поступающих из

фильтров первой ступени, выше, чем из отстойников. Кроме того, в этом случае легче решается высотная схема – возможно расположение этих восходящих и нисходящих фильтров в одном смежном сооружении.

При двухступенчатом фильтровании схема включает барабанные сетки, контактные осветлители и скорые фильтры. Ввод реагентов осуществляют с помощью перфорированных распределителей, здесь возможен дробный или прерывистый режим коагулирования. При этом целесообразно предусмотреть ввод реагентов в нескольких точках технологической схемы. Используется контактный осветлитель типа КО-3 с водовоздушной промывкой - эквивалентный диаметр загрузки 1-1,1 мм, коэффициент неоднородности 2-2,2, относительная плотность 2,6-2,65, высота слоя 2-2,2 м. Продолжительность фильтроцикла примерно 12 ч, скорость при нормальном режиме 6,5 м/ч, при форсированном 7,5 м/ч. Скорость фильтрования для скорых фильтров второй ступени на 15-20% больше рекомендуемой СНиП 2.04.02-84 [9].

2.5.2. Фильтрация с уменьшающейся по ходу потока скоростью

При таком способе очистки из-за более высокой скорости в первых слоях фильтрации загрязнения проникают глубже в загрузку, степень использования ее грязеемкости возрастает. Реализуется этот метод в фильтрах с увеличивающимся в направлении потока сечением с вертикальным или горизонтальным движением воды. На рис.2.34 при-



ведена установка осветления воды, в которой совмещены вертикальный отстойник и фильтр с уменьшающейся по ходу потока скоростью.

2.5.3. Фильтрация с уменьшающейся во времени скоростью

Скорые фильтры традиционно эксплуатировались в режиме постоянной скорости фильтрации с использованием различных систем регулирования расхода воды. Известны недостатки способа: регуляторы скорости фильтрации часто выходят из строя, при ручном регулировании расхода имеют место резкие скачки скорости, что отражается на качестве фильтрата. При работе фильтров с переменной скоростью подачу исходной воды осуществляют из общего трубопровода, расположенного ниже рабочего уровня воды в фильтрах, что делает их гидравлически взаимосвязанными, и в результате более чистые фильтры получают большую нагрузку.

Пропускная способность фильтра определяется располагаемым напором, т.е. разностью пьезометрических отметок до и после фильтра, и потерями напора в коммуникациях и загрузке фильтра. Пусть

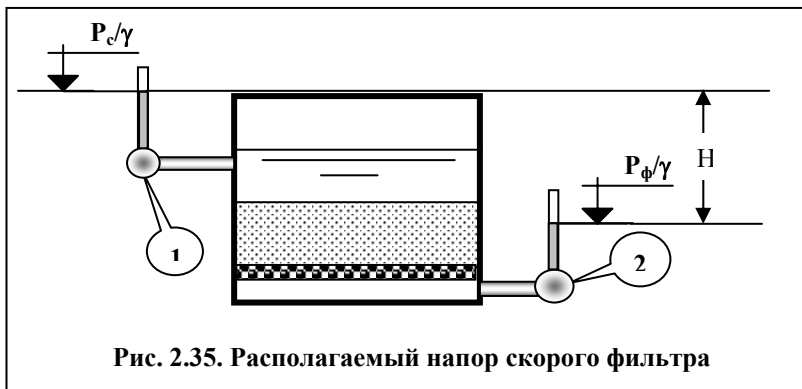


Рис. 2.35. Располагаемый напор скорого фильтра

фильтр подключен к коллектору сырой воды (1) и фильтрата (2), к которым подключены и другие фильтры (рис.2.35).

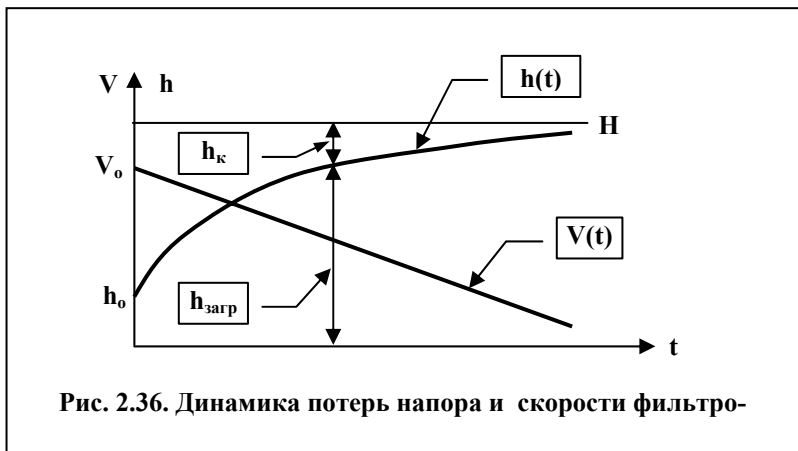
Пьезометрическая отметка в коллекторе фильтрата P_{ϕ}/γ определяется, главным образом, отметкой воды в резервуаре чистой воды (РЧВ), к которому подключен коллектор (2), а пьезометр в коллекторе сырой воды P_c/γ определяется работой НС-1 (или уровнями воды в предыдущих сооружениях). Таким образом, располагаемый напор $H = (P_c/\gamma) - (P_{\phi}/\gamma)$ не зависит от работы данного фильтра.

Располагаемый напор H тратится на преодоление сопротивлений в коммуникациях и в загрузке фильтра. Потери напора в коммуникациях и дренаже фильтра пропорциональны квадрату скорости фильтрования (V^2), а в загрузке эта зависимость при небольших скоростях линейная (закон Дарси при ламинарной фильтрации):

$$H = h_{\text{ком}} + h_z = aV_{\phi}^2 + bV_{\phi},$$

где $h_{\text{ком}}$ и h_z – потери напора в коммуникациях и в загрузке;
 a и b – коэффициенты, зависящие от сопротивлений коммуникаций и параметров загрузки.

Если задвижки фильтров открыты полностью, то коэффициент a постоянен и зависит от диаметра труб, местных сопротивлений, размеров отверстий дренажа и т.п. Коэффициент b для такой загрузки (определенного гранулометрического состава) зависит от ее пористости.



При фильтровании пористость загрузки уменьшается за счет задержания загрязнений, поэтому коэффициент b возрастает. В результате скорость фильтрования V_{ϕ} понижается (рис.2.36).

Таким образом, если задвижки фильтра полностью открыты, то скорость фильтрования V_{ϕ} со временем падает, а потери напора растут.

Для того чтобы обеспечить постоянную V_{ϕ} , поступают следующим образом: в начале фильтроцикла задвижку фильтрата прикрывают, устанавливая заданную начальную скорость, а затем, по мере загрязнения загрузки, открывают, компенсируя тем самым рост сопротивления загрузки.

Момент времени, когда суммарные потери напора в фильтре ($h_{\text{ком}} + h_3$) достигают предельного значения (H), соответствует продолжительности фильтроцикла T . Если фильтр не будет остановлен в момент времени T , то скорость фильтрования начнет уменьшаться. Для обеспечения постоянной скорости фильтрования должны быть установлены регуляторы, либо необходимо фильтры делать большей высоты, чем при установке регуляторов (примерно на 1,5-2,0 м), для обеспечения достаточно длительного фильтроцикла. Это увеличивает строительную стоимость фильтров.

Сравнительная оценка режимов работы фильтров с постоянной и переменной скоростью

При постоянной $V_{\text{ф}}$ истинная скорость в поровом пространстве (истинная скорость – это скорость в поровом пространстве – $V_{\text{и}} = V_{\text{ф}}/m$, где m – пористость, которая по мере заилиenia загрузки уменьшается) со временем возрастает из-за сужения сечения каналов задержанными загрязнениями. Поэтому вероятность срыва уже задержанных загрязнений здесь выше, чем в режиме переменной V , где одновременно с ростом объема загрязнений снижается скорость.

При переменной скорости по мере заилиenia загрузки истинная скорость движения воды в порах также растет. Однако при постоянной производительности темп увеличения истинной скорости будет выше, чем при снижающейся. Можно ожидать улучшения качества фильтрата в этом случае.

С другой стороны, слишком высокие начальные скорости фильтрования способствуют проскоку взвеси в фильтрат. Как показали специально проведенные в ОГАСА (ОИСИ) эксперименты [21], качество фильтрата при постоянной и переменной скорости оказалось весьма близким, однако, продолжительность фильтроцикла при переменной скорости была большей.

Для эффективной эксплуатации фильтров с переменной скоростью требуется оптимизировать начальную и конечную скорости фильтрования. Начальную (максимальную) скорость устанавливают экспериментально с учетом качества фильтрата и заданной производительности сооружений.

Отключение фильтра на промывку при переменной скорости возможно по следующим показателям:

1) при достижении максимально допустимого уровня воды в фильтре или входном канале;

2) при достижении заданной производительности фильтра – максимальной полезной или соответствующей минимуму эксплуатационных затрат.

По мере увеличения сопротивления загрузки данного фильтра его производительность падает, а соседних фильтров растет за счет перераспределения потока. При этом медленно повышается уровень воды на всех фильтрах (либо во входном канале) до максимально возможного, после чего фильтр, работающий с минимальной скоростью, промывается.

Ряд станций, запроектированных на режим работы с постоянной скоростью, много лет успешно эксплуатируют с переменной скоростью. К достоинствам этого метода относят:

- простота обслуживания, отсутствие регуляторов;
- высокое качество фильтрата;
- лучшее использование располагаемого напора – большая производительность станции на единицу располагаемого напора.

Указанные преимущества позволяют при переходе на режим переменной скорости увеличить производительность станции без дополнительных капитальных вложений. Опыт эксплуатации показывает возможность увеличения полезной производительности на 5-12%.

К недостаткам работы фильтров с уменьшающейся скоростью можно отнести опасность проскока взвеси в начале фильтроцикла, при максимальной скорости фильтрации, а на малых станциях может потребоваться увеличение запасных емкостей из-за колебаний расхода.

Актуальна разработка математической модели процесса фильтрации со снижающейся производительностью – работы в этом направлении ведутся многими исследователями [22].

2.5.4. Использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью

В 1962 г. для использования в водоочистных фильтрах был предложен дробленый керамзит - материал с высокой межзерновой пористостью и развитой удельной поверхностью. В 1964 г. было начато промышленное применение керамзитовой загрузки. Об эффективности нового фильтрующего материала свидетельствует следующее: реконструкция на его основе только двух городских станций доочистки позволила поднять суточную производительность сооружений с 41 до 74 тыс.м³. В табл.2.1 [23] приведено сравнение работы фильтров с песчаной и керамзитовой загрузкой. Как видно, фильтры с керамзитовой загрузкой обеспечивают большую производительность без ухуд-

шения качества фильтрата. Вслед за керамзитом были предложены и другие местные материалы: горелые породы (Новосибирск), оплавленный керамзитовый песок - отходы производства керамзитового гравия (Ленинград), аглопорит (Одесса), вулканические шлаки (Ереван), шунгизит (Петрозаводск), гранулированные металлургические шлаки (Мурманск), гранодиорит (Хабаровск), цеолиты (Украина, Азербайджан, Грузия), габбро-диабаз (Россия, Азербайджан) и др. Все они по сравнению с кварцевым песком, имеют большие значения пористости и коэффициентов формы зерен, а по механической прочности, как правило, отвечают установленным требованиям.

Таблица 2.1. Показатели работы фильтров с керамзитовой и кварцевой загрузками

Показатели	Керамзит		Кварц
	Начальная скорость, м/ч		
	15	10	10
Средняя за фильтроцикл скорость, м/ч	10,7	8,1	7,4
Содержание взвешенных веществ, мг/л:			
исходная вода	28,1	22,9	24,9
фильтрат	0,69	0,26	0,98
Объем фильтрата, м ³ /м ²	324	328	130
Грязеемкость, кг/м ²	8,52	7,41	3,1

При замене загрузки следует проверять режим и эффективность промывки новых фильтрующих материалов.

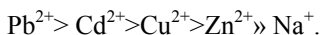
На основе этих материалов появилась возможность усовершенствования и интенсификации работы большинства конструкций фильтров: двух- и многослойных, двухпоточных, двухступенчатых (префильтр - фильтр), контактных осветлителей. Помимо этого, использование местных промышленно- доступных, недорогих фильтрующих материалов позволяет решить проблему снабжения действующих или строящихся сооружений.

Из перечисленных материалов значительный интерес представляют цеолиты [24,25]. Пористость цеолита 0,52-0,62 против 0,38-0,4 для кварцевого песка, удельная поверхность 20 – 40 м²/г против 0,12, коэффициент формы намного выше – 2,35 против 1,17. В результате

скорость фильтрования может быть повышена с 5-7 м/ч до 7-9 м/ч, расход промывной воды меньше на 20%, грязеемкость цеолитовой загрузки на 30-40% больше, чем песчаной.

Обычно у эксплуатационников вызывают опасения меньшая прочность цеолита по сравнению с кварцевым песком. Однако, как показано в [27], при использовании корректных методик испытаний цеолита на истираемость и измельчаемость эти показатели оказывались в пределах общепринятых норм.

Помимо высоких фильтрационных свойств цеолит позволяет очищать воду от некоторых радиоактивных изотопов (Cs, Sr, Tl, Co и др.). Цеолит имеет небольшую обменную емкость по отношению к некоторым распространенным катионам (Ca^{2+} , Mg^{2+} , и др.). Вместе с тем цеолит обладает селективностью по отношению к тяжелым металлам. Ряд селективности цеолита к тяжелым металлам [24] следующий:



В результате, после того, как исчерпывается обменная емкость цеолита, например, по солям жесткости, эти катионы замещаются катионами свинца, кадмия и других токсичных веществ. А поскольку эти вещества находятся в воде в микроколичествах, обменная емкость цеолита по таким веществам оказывается вполне достаточной для достаточно длительной эксплуатации без регенерации или замены загрузки. Это подтверждается исследованиями доочистки водопроводной воды, выполненными в ОГАСА [26].

В Украине цеолит поставляется из Закарпатья (Сокирницкое месторождение).

К отдельной группе относятся плавающие фильтрующие материалы - вспененный гранулированный полистирол. Этот материал по сравнению с кварцевым песком обладает лучшими адгезионными свойствами в сочетании с меньшей потребной интенсивностью промывки [28].

2.5.5. Предварительная реагентная обработка воды

Можно выделить два класса методов. К первому относится введение в воду дополнительно флокулянтов, окислителей, регуляторов pH, минеральных замутнителей. Ко второму - перемешивание воды, обработанной коагулянтами, оптимизация режимов введения коагулянта в воду, рециркуляция коагулированной взвеси с "омоложением" ее дополнительными порциями коагулянта, совмещение коагуляции с

физическими методами (магнитное или электрическое поле, ультразвук, электрогидровзрыв).

Введение флокулянтов способствует повышению качества очистки, а во многих случаях позволяет в 1,2-1,5 раза увеличить производительность сооружений. Наибольший эффект наблюдается при введении флокулянта непосредственно перед загрузкой, при этом дозу следует назначать с учетом её гранулометрического состава, поскольку в этом случае возрастают потери напора.

Применение окислителей позволяет разрушить органические соединения, стабилизирующие дисперсные примеси воды. В результате улучшаются условия коагуляции, уменьшается грязевая нагрузка на фильтры и повышается их производительность. В присутствии хлора гели гидроокиси алюминия, накопленные в загрузке, дольше сохраняют сорбционные свойства (даже при временном прекращении подачи коагулянта - в режиме прерывистого коагулирования). Однако при использовании окислителей возрастает опасность образования канцерогенных соединений. В последние годы для предварительной обработки органических веществ используют УФ облучение [18].

Регулирование pH производят для оптимизации условий коагулирования. Режим регулирования (подщелачивание или подкисление, вид реагента, порядок его введения) определяется качеством обрабатываемой воды, температурой, составом загрязнений.

К безреагентным методам улучшения коагуляции можно отнести и перемешивание воды. Возможно 30-50% снижение расходов коагулянта за счет механического или пневматического перемешивания. При устойчивой работе отстойников это снижает нагрузку на фильтры.

Оптимизация способов введения коагулянта - одно из наиболее действенных средств интенсификации работы фильтров. Применительно к фильтрам наиболее изучено прерывистое коагулирование, когда продолжительность периодов коагулирования и перерывов в подаче соотносится от 3:1 до 0,3:1. Эффективность метода обусловлена более полным использованием адгезионной емкости продуктов гидролиза коагулянтов при их избытке. Потребность в коагулянтах снижается в 1,3-2 раза, увеличивается длительность фильтроцикла.

Дробное коагулирование оказалось эффективным при очистке высокоцветной воды (до 200°) на прямоточных фильтрах Петрозаводского горводопровода. Введение 65-75% общей дозы коагулянта в смеситель и 25-35% непосредственно перед загрузкой позволило увеличить фильтроцикл в 1,5-2,5 раза. При этом существенным оказалось влияние времени разрыва между введением второй порции и поступ-

лением воды в загрузку. Эффективной здесь оказалась вращающаяся система распределения коагулянта, расположенная в фильтре.

Физические методы интенсификации испытаны, в основном, применительно к процессам коагуляции в свободном объеме. Некоторые результаты могут оказаться полезными и для фильтрационной водоочистки. Так, наложение электрического поля ускоряет коагуляцию обработанных сернокислым алюминием мутных вод, повышает степень очистки от органических и неорганических примесей. Эффект обработки повышается с ростом концентрации взвеси и напряженности электрического поля.

Наложение магнитного поля на 30-40% увеличивает сорбционную емкость продуктов гидролиза коагулянтов по отношению к взвешенным веществам. Наиболее эффективно воздействие магнитного поля для вод средней мутности: коагуляция в свободном объеме оканчивается в 1,5-2 раза быстрее, расход коагулянта снижается в 2-3 раза [6].

Рекомендации по ультразвуковой обработке и ионизирующему облучению природных вод после введения в них коагулянта неоднозначны. Так, наряду с двухкратной активизацией седиментации каолиновых частиц, отмечается и диспергирующее влияние ультразвуковой обработки.

После γ -облучения растворов сернокислого алюминия скорость хлопьеобразования в воде возрастает в 2-3 раза. Такое облучение не вызывает ядерных превращений в воде и поэтому безопасно. Однако опыт применения физических свойств интенсификации процессов очистки воды пока невелик.

Представляет интерес использование электрогидровзрыва для интенсификации процесса реагентной обработки воды. Здесь реализуется целый комплекс физических методов воздействия - локально сверхвысокие давления и температуры, магнитное и звуковое поля, излучение. Применение электрогидровзрыва обеспечивает до 30-40% экономии коагулянта. Исследования в этом направлении проводились в Петрозаводском госуниверситете.

2.5.6. Повышение эффективности регенерации загрузки

Проблема регенерации зернистой загрузки фильтров - одна из наиболее старых в водоснабжении. Плохая регенерация может свести на нет преимущества самых эффективных фильтрующих материалов и реагентов.

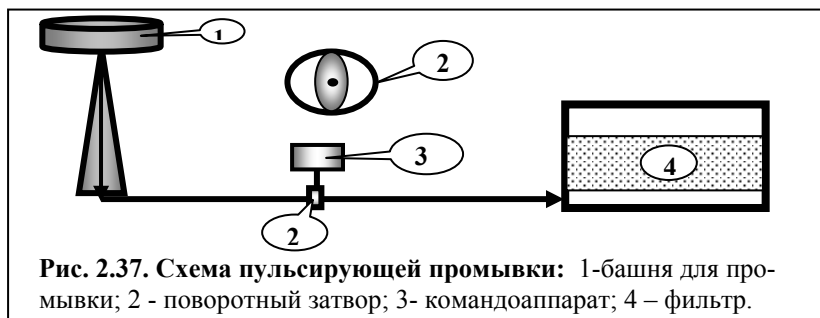
Наиболее распространенный и простой прием регенерации зернистого слоя – промывка обратным током воды. Однако он не всегда достаточно эффективен, требует больших удельных расходов воды (до 6-7 м³ на 1 м² площади). При водяной промывке происходит гидравлическая сортировка загрузки, из-за чего наиболее мелкие зерна оказываются в первых по ходу фильтрационного потока слоях. Это приводит к быстрой их коагуляции, неполному использованию грязеемкости фильтра, сокращению длительности рабочего цикла и полезной производительности сооружений. Водяную промывку можно улучшить путем повышения интенсивности подачи промывной воды. Однако это потребует увеличения мощности насосного оборудования, размеров подающих и отводящих коммуникаций, объема сооружений повторного использования промывной воды и обработки осадка, что во многих случаях нецелесообразно. В работах ОГАСА [29] сформулированы принципы интенсификации процесса регенерации, основанные на повышении относительных локальных скоростей воды и зерен при возможно меньшей пористости. На их основе удалось не только объяснить высокую эффективность таких известных способов регенерации как водовоздушной, поверхностной, пульсирующей, фонтанирующей промывок, но и создать ряд новых, из которых наиболее перспективными являются промывка с низкой частотой пульсаций и чередующаяся.

При устройстве поверхностной промывки требуется дополнительная распределительная система, располагаемая над фильтрующей загрузкой. Широкого применения в осветлительных фильтрах этот способ не получил.

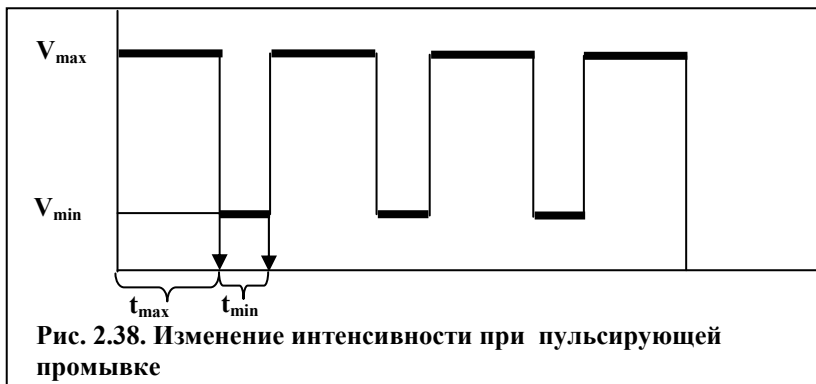
Водовоздушная промывка, более сложная в конструктивном оформлении и в эксплуатации, чем при водяной промывке, обладает значительно большей эффективностью. Существуют раздельная и совместная водовоздушные промывки – при раздельной промывке в загрузку подают вначале только воздух, а затем воду. При совместной промывке воздух и воду подают одновременно. СНиП 2.04.02-84 рекомендует трехэтапную промывку с интенсивностью продувки 15-20 л/(с.м²) и изменением интенсивности подачи воды с 3-4 до 6 л/(с.м²) на последних двух этапах. Исследования ОГАСА показали возможность снижения интенсивности продувки до 10 л/(с.м²) и проведение двухэтапной промывки с постоянной интенсивностью подачи воды, величина которой должна быть не менее критической для крупных (d_{80}) зерен загрузки, обеспечивающей полное вытеснение воздуха из загрузки.

Пульсирующая промывка. Отмывка загрязнений обусловлена касательными напряжениями на поверхности зерен загрузки и их столкновениями. Следовательно, наилучшим образом промывка происходила бы во взвешенном слое при высоких скоростях и низкой пористости. Однако, эти два требования противоречивы, так как с увеличением расхода промывной воды повышается пористость взвешенного слоя. В начале промывки интенсивность подачи воды достигает максимума, после чего остается почти постоянной до конца промывки. Загрузка же, расширяясь, движется медленнее промывной воды до достижения состояния равновесия. Пористость слоя при этом выше пористости неподвижного слоя, но меньше, чем в полностью расширенном состоянии. Пока загрузка не достигла полного расширения, интенсивность ее отмывки выше, чем после завершения этого процесса. Таким образом, при периодическом изменении интенсивности промывки загрузка большую часть времени не будет полностью расширена. Это свидетельствует о возможности интенсификации промывки за счет пульсации потока промывной воды. Кратковременная подача повышенного расхода воды обеспечивает ее движение сквозь мало-расширенный слой загрузки и, как следствие, высокие «истинные» скорости воды в поровом объеме, интенсивное взаимодействие зерен. На этапе подачи малого расхода воды загрузка оседает, пористость слоя снижается, зерна и вода двигаются противотоком, относительные скорости из-за этого растут.

Создание низкочастотных пульсаций промывного потока в фильтре может быть реализовано при подаче промывной воды из водонапорной башни. При этом на подающем трубопроводе необходимо установить запорное устройство, которое могло бы работать в необходимом режиме. Для этого можно применить дисковый поворотный дроссель, разработанный НИКТИ ГХ МЖКХ УССР (рис.2.37).

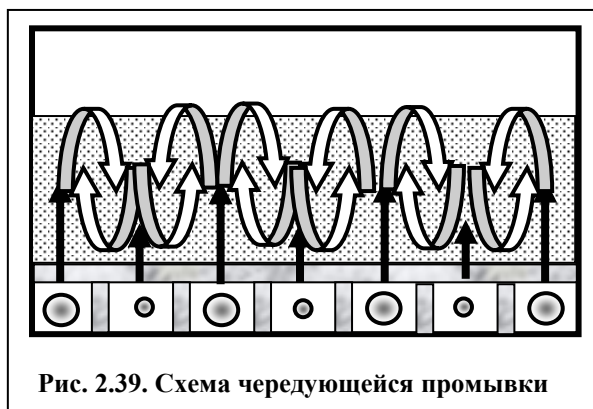


Изменение интенсивности промывки будет идти по ступенчатому графику (рис.2.38).



Установлено, что возможен переход на пульсирующую промывку без существенных капитальных вложений в схемах с подачей промывной воды от башни, при этом достигается лучший эффект промывки (при 4 – 5 циклах изменения подачи промывной воды эффект промывки на 10-50% выше обычного).

Чередующаяся промывка. При промывке с переменной площадью фильтра интенсивностью подачи промывной воды зоны повышенного и пониженного расходов чередуются (рис.2.39).



В зонах повышенных скоростей зерна загрузки движутся вверх и, достигнув поверхности слоя, опускаются в зонах пониженных скоростей. Образуются замкнутые контуры, перемешивающие загрузку, что существенно меняет картину ее гидравлической сортировки. Высокие скорости в зонах повышенных интенсивностей способствуют отрыву загрязнений; в зонах пониженных интенсивностей вода и загрузка движутся противотоком, что увеличивает относительные скорости. При таком режиме промывки средняя пористость взвешенного зернистого слоя ниже той, что имеет место при традиционной промывке.

Чередующаяся промывка успешно реализуется в фильтрах с безгравийным дренажом за счет создания зон с различным гидравлическим сопротивлением. Высокая ее эффективность подтверждена опытом производственной эксплуатации 35 фильтров общей площадью 2,6 тыс. м² на 9 очистных станциях: обеспечивается эффективная промывка загрузки, повышается ее грязеемкость, полезная производительность фильтра увеличивается на 10-30%.

При чередующейся промывке уменьшается гидравлическая сортировка загрузки, увеличивается грязеемкость, удлиняется фильтроцикл и сокращается расход промывной воды. При этом достигается высокая эффективность отмывки загрузки. К недостаткам способа следует отнести возможность применения его только на фильтрах с однослойной загрузкой и безгравийным дренажом.

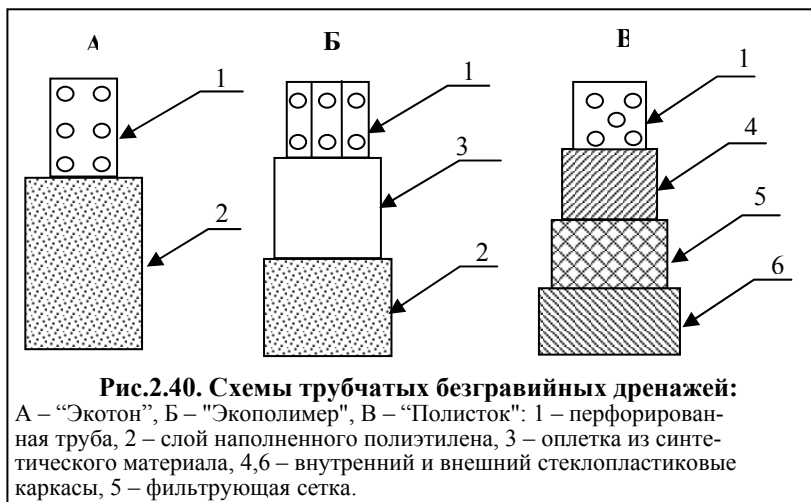
2.5.7. Совершенствование конструкций фильтра

Совершенствование конструкций фильтров идет главным образом по пути поиска новых безгравийных дренажных систем и способов отвода промывной воды.

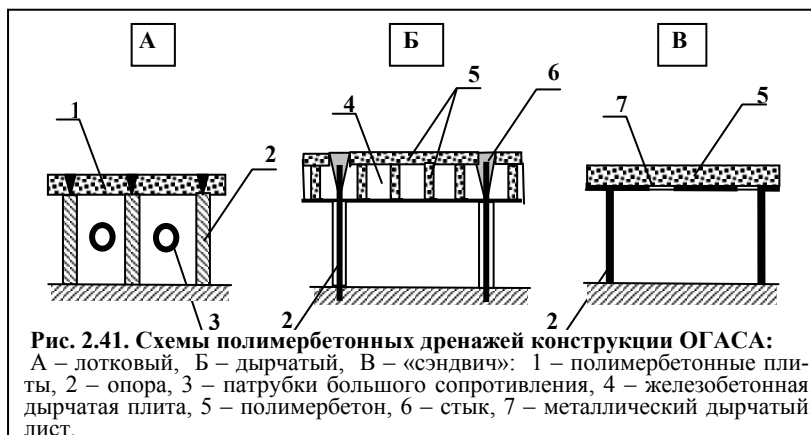
Дренажно-распределительные системы

Наиболее распространенная дренажная система - трубчатая с поддерживающимися слоями гравия - обладает невысокой надежностью, большой металлоемкостью, трудоемкостью монтажа и эксплуатации. В настоящее время все более широкое распространение получают безгравийные пористые дренажи.

Известны конструкции пористых дренажей ОГАСА из пористого полимербетона [30], трубчатые дренажи фирм «Экополимер», «Экотон» из пластмассовых перфорированных труб, покрытых пористым материалом из синтетических волокон или стекловолокна (рис.2.40).



Полимербетонный дренаж лоткового типа (рис.2.41 А) состоит из лотков, перекрытых пористыми плитами [10].



Такая конструкция достаточно легко реализуется на очистных станциях и надежно эксплуатируется с 1971г. Для фильтров новых очистных станций может быть рекомендован дырчатый полимербетонный дренаж (рис. 2.41 Б). Эта конструкция индустриальна и монтируется из предварительно изготовленных дырчатых железобетонных плит с отверстиями, заполненными пористым материалом. Такой дренаж работает по принципу большого сопротивления, что обеспечивает

равномерность промывки и повышает ее эффективность. Аналогичная конструкция с плитой из металлического или пластмассового листа предложена для напорных фильтров (рис. 2.41 В).

В табл. 2.2 дана ориентировочная стоимость современных конструкций отечественных и зарубежных дренажных систем, а в табл. 2.3 – их сравнительная характеристика.

Таблица 2.2. Ориентировочная стоимость безгравийных дренажей

Фирма-изготовитель	Стоимость 1 м ² , долларов США			Относительная стоимость монтажа, %
	Материалы	Монтаж	Всего	
Инфилко	538	145	680	21,3
Тэко-фильтр	-	-	600	-
Экополимер	100-120	40-48	140-168	28,5
Полисток	114	34	148	22,3
Экотон	100	40	140	28,5
ОГАСА	65	30	95	31,6

Таблица.2.3. Сравнительная характеристика современных конструкций дренажных систем

Тип дренажа	Описание конструкции, условия изготовления	Материал	Преимущества	Недостатки	Фирмы-изготовители
Колпачковый	Колпачки на трубах, поддоне, блоках. Заводское изготовление	Полистирол, капрон, Нержавеющая сталь	Простота монтажа, низкая металлоемкость (кроме металлических колпачков)	Большое число колпачков, заклинивание щелей зернами загрузки	Инфилко, Вабаг, Тэко-фильтр.
Трубы с пористым покрытием	Перфорированные трубы с покрытием из напыленного полиэтилена. Заводское изготовление	Полиэтилен высокого и низкого давления	Простота монтажа	Возможность колюматации взвесью, влияние транзитного потока на распределение воды.	Экотон, Экополимер
Стеклопластиковые трубчатые	Перфорированная труба с двумя каркасами, между ними – фильтровальная сетка. Заводское изготовление.	Реактопласты	Простота монтажа, малый вес, низкий коэффициент температурного расширения.	Влияние транзитного потока на распределение воды.	Полисток
Пористый полимербетон	Лотки, перекрытые пористыми плитами, дырчатые железобетонные (металлические) плиты, покрытые пористым полимербетоном. Изготовление в заводских условиях или на станции.	Гранитный щебень (гравий) с эпоксидным связующим, полистирол	Низкий коэффициент температурного расширения, большие поры, снижающие вероятность колюматации, малые потери напора, высокая степень равномерности промывки.	Трудоемкость монтажа.	ОГАСА

Отвод промывной воды

Отвод промывной воды системой горизонтально расположенных желобов не обеспечивает равномерного удаления загрязненной воды за пределы фильтра и не гарантирует отсутствие уноса загрузки. На смену желобам приходит низкий отвод промывной воды с пескоулавливающим желобом [10] и системы пористого отвода в виде наклонной стенки или пористых труб.

На рис.2.42 приведена схема отвода промывной воды пористой стенкой. Стенка 3 наклонена в сторону фильтра, что увеличивает ее пропускную способность по сравнению с вертикальной, а также препятствует ее колюматации зернами загрузки. Отбойная стенка 2 устраивается при водовоздушной промывке для отклонения пузырьков воздуха.

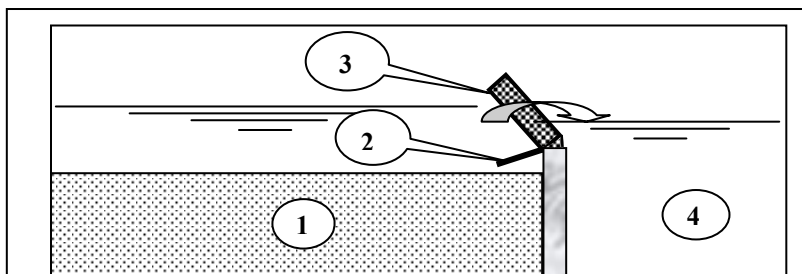


Рис.2.42. Отвод промывной воды пористой стенкой: 1– загрузка; 2–отбойная стенка; 3–пористая стенка; 4–карман фильтра

При большой площади фильтра пористая система отвода выполняется в виде желобов или труб (рис. 2.43).

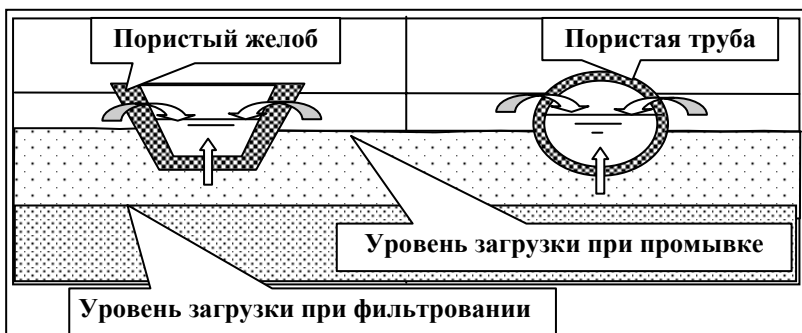


Рис. 2.43. Системы пористого отвода промывной воды

Системы пористого отвода промывной воды успешно эксплуатируются на Николаевском водопроводе с 1987 г. [31].

Контрольные вопросы

1. Перечислите методы интенсификации работы фильтров.
2. Где больше грязеемкость – в скором фильтре или контактном осветлителе?
3. Какую загрузку целесообразно применять в контактном осветлителе: керамзит или песок?
4. Начертите возможные схемы двухступенного фильтрования. Каковы преимущества схемы контактный осветлитель – скорый фильтр?
5. Как определяют время работы фильтра первой ступени в вышеперечисленных схемах?
6. Сравните работу фильтра с постоянной и переменной скоростью.
7. Как определить продолжительность фильтроцикла скорых фильтров, работающих с переменной скоростью?
8. Возможно ли повышение скорости фильтрования при замене песчаной загрузки на цеолитовую?
9. Перечислите недостатки водяной промывки фильтров.
10. Назовите интенсивные способы промывки скорых фильтров.
11. Когда целесообразно применение пульсирующей промывки?
12. Перечислите достоинства и недостатки водовоздушной промывки.
13. Почему фильтр с чередующейся промывкой может работать с большей скоростью, чем фильтр с водяной промывкой?
14. Приведите схему безгравийного пористого дренажа для реконструкции скорого фильтра с чередующейся промывкой.
15. Приведите конструкцию системы отвода промывной воды при водовоздушной промывке.

2.6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД

Вода поверхностных и подземных источников подвержена загрязнению антропогенного характера, в состав которых входят органические вещества. Содержащиеся в воде органические соединения могут стимулировать бактериальный рост на очистных сооружениях и в водопроводной сети. Аммонийные соединения, фосфор, марганец, железо являются субстратом (питанием) для некоторых бактерий.

Различают биоразлагаемые и биорезистентные (не поддающиеся биологическому разложению) органические вещества. К последним относится синтетическая органика и галогенированные соединения,

попадающие в источники при сбросе недостаточно очищенных пром-стоков, а также в процессе обработки воды хлором.

Показателем уровня загрязнения источников органическими веществами в настоящее время является углерод:

- ООУ – общий органический углерод;
- РОУ – растворенный органический углерод;
- АОУ – ассимилируемый органический углерод, это количественная оценка биоразлагаемых веществ (не включает гумусовые вещества).

Количество АОУ является показателем потенциального роста микроорганизмов. Чем ниже АОУ, тем выше биологическая стабильность воды.

Биологическая очистка природных вод известна давно – она происходит на медленных фильтрах. Существует мнение, что биологические процессы есть и при скором фильтровании, если скорости не очень велики. Возможность применения биологических методов очистки связана со способностью органических веществ к биологическому разложению. Однако широкого применения в водообработке эти методы получили только во второй половине XX века. Опыт стран Западной Европы (фирма «Дегремон») показывает, что биологические процессы могут сочетаться с технологическими схемами физико-химической очистки.

Биологическими методами могут быть удалены [32]:

- органические вещества - фенолы, нефтепродукты;
- аммонийные соединения;
- растворенные в воде газы, например, сероводород;
- железо, марганец;
- привкусы и запахи.

Кроме того, биологические процессы увеличивают срок работы сорбентов.

Известны следующие процессы биологической очистки.

Окисление в биопленке. Биопленка образуется на поверхности твердого материала – носителя. Бактерии прикрепляются к поверхности носителя, используя клейкие вещества или за счет сорбции. Закрепленные бактерии становятся более устойчивыми к внешним воздействиям. АОУ, имеющийся в природных водах, способен поддерживать рост биопленки.

Носителем могут служить синтетические волокна, песок, графит, клиноптилолит, активированный уголь. На рост колоний влияют

гранулометрический состав, пористость, поверхностная активность материала носителя.

Биореакторы с закрепленной микрофлорой. Это фильтры с загрузкой определенного гранулометрического состава, с промывкой малой интенсивностью либо без промывки (чтобы не вымывалась биопленка).

Гранулированный активированный уголь (ГАУ) является очень хорошей средой для развития микрофлоры. При этом биоразлагаемые вещества удаляются микрофлорой и тем самым увеличиваются адсорбционные места для сорбции биорезистентных органических соединений, т.е. увеличивается срок службы ГАУ.

Химическое окисление и биопленка. При предварительном озонировании повышается концентрация растворенного кислорода и, поскольку процессы биологической очистки аэробны, то органические вещества окисляются до состояния, в котором они легко ассимилируются микроорганизмами. Однако дозы окислителя и время контакта необходимо определять в процессе пилотных исследований на обрабатываемой воде.

Технологические схемы

Двухступенное фильтрование. Вода поступает на скорый песчаный фильтр, а затем на сорбционный фильтр. Первая ступень является биологическим фильтром. Конструктивно это стандартный открытый или напорный фильтр. Скорость фильтрования невысокая, ниже, чем для осветления, т.е. увеличивается время контакта воды с загрузкой. Предварительное хлорирование не производится. Промывка загрузки осуществляется с малой интенсивностью, возможно применение водовоздушной промывки. Таким образом, создаются условия для аккумуляции биопленки. В качестве первой ступени может использоваться угольный фильтр без промывки либо с частичной (70-80%) регенерацией для сохранения биопленки.

Могут применяться напорные фильтры с нисходящим или восходящим фильтрованием. На рис. 2.44 дана схема напорного биофильтра с восходящим потоком воды: вначале вода фильтруется через инертный материал (песок), служащий носителем биопленки, где задерживаются биоразлагаемые органические вещества, а затем поступает на сорбционную загрузку, где удаляются биорезистентные вещества.

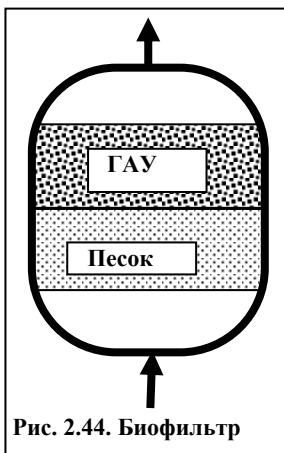


Рис. 2.44. Биофильтр

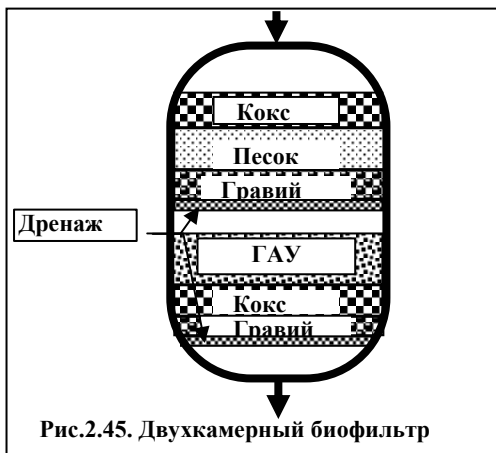


Рис.2.45. Двухкамерный биофильтр

В двухкамерном биофильтре с нисходящим потоком (рис.2.45) в верхней камере происходит биоокисление, а во второй – сорбция биорезистентных органических веществ.

Вместо префильтра в двухступенной безреагентной схеме можно использовать устройство верхнего слоя медленного фильтра из клиноптилолита, матов из волокна.

Во ВНИИ ВОДГЕО разработан биотехнологический метод очистки природных и сточных вод – биосорбция: совмещение в пространстве и времени процессов сорбции загрязнений с их биологическим окислением.

Процесс проходит стадии:

- адсорбция загрязнений из воды в микропористой структуре сорбента;
- биохимическая модификация адсорбированных трудноокисляемых веществ в биоразлагаемую форму экзоферментами, иммобилизованными в микропористой структуре активированного угля;
- десорбция биоразлагаемых продуктов к поверхности частиц сорбента;
- биологическое окисление этих продуктов микроорганизмами биопленки на поверхности частиц сорбента.

Это обеспечивает постоянное биологическое восстановление сорбента и исключает необходимость его термической регенерации или замены.

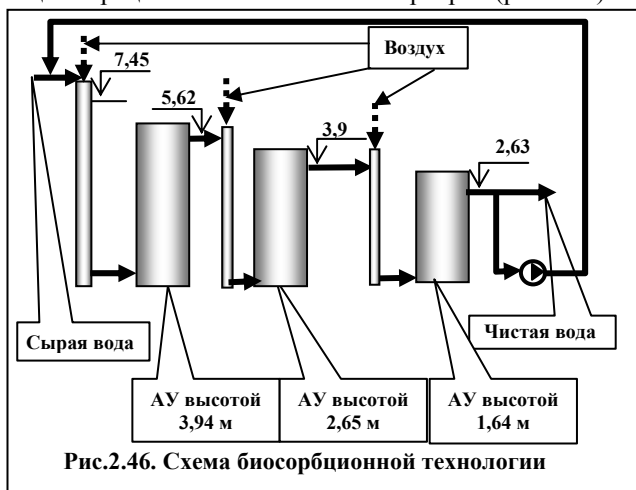
Принципиальное отличие биосорберов от традиционных сорбционных фильтров с ГАУ заключается в том, что сорбционная нагрузка

ка постоянно поддерживается в псевдооживленном состоянии, что обеспечивает интенсивный массообмен между частицами сорбента и обрабатываемой водой, повышает эффективность адсорбции загрязнений и создает благоприятные условия для развития бактериальной пленки на зернах сорбента. Таким образом, сорбционная очистка дополняется биологической, в результате чего происходит непрерывное биологическое окисление адсорбированных загрязнений (биорегенерация сорбента).

Оптимальная степень расширения загрузки составляет 40-42%. Недостаточное или неравномерное взвешивание слоя приводит к ухудшению массообмена, возникновению застойных зон, в которых происходит накопление загрязнений, вызывающее вторичное загрязнение воды.

Биосорбционный метод рекомендуется в качестве предварительной очистки при водоподготовке, позволяет отказаться от озонирования и сорбции. Качество очищенной воды по органическим загрязнениям соответствует ГОСТ на питьевую воду. Сочетание биосорбции с традиционными методами обработки воды на последующих стадиях повышает барьерную функцию очистных сооружений, позволяет при экономии реагентов улучшить качество очищенной воды по всем основным регламентируемым показателям, снизить риск образования хлорорганических соединений в процессе обработки.

Технологическая схема состоит из нескольких последовательно работающих азрационных колонн и биосорберов (рис.2.46).



Биосорбер представляет собой колонну диаметром 1200 мм, снабженную распределительной и сборной системами. Время пребывания воды в них составляет 15-20 мин. Аэрационная колонна имеет диаметр 370 мм.

Технология «Биокарбон» (Франция). В скорых фильтрах, загруженных ГАУ, в среднем слое загрузки размещены воздухопроводы для насыщения нисходящего потока фильтруемой воды кислородом воздуха. Это способствует росту и жизнедеятельности аэробных бактерий, развивающихся на зернах загрузки и окисляющих органические вещества, сорбируемые в порах загрузки. Нижняя часть угольной загрузки служит для задержания взвешенных веществ, включая частицы бактериальной массы, выносимые потоком воды из верхних слоев.

Биореактор с волокнистыми носителями прикрепленных микроорганизмов /ВОДГЕО/. Биореактор представляет собой колонну переменного сечения, заполненную высокопористым полимерным материалом, удерживаемым в плавающем состоянии решеткой. В нижней части реактора находится осадкоприемник, соединенный с дренажем контактного фильтра с плавающей загрузкой (КФПЗ). Биореактор оборудован распределительной системой для сжатого воздуха, трубопроводами подачи исходной, промывной воды, а также сброса промывной воды.

В процессе обработки исходная вода предварительно насыщается кислородом и поступает в толщу волокнистой загрузки, на поверхности которой развивается естественный биоценоз, поглощающий из обрабатываемой воды часть растворенных органических загрязнений. Периодически отрывающиеся хлопья биопленки осаждаются в осадкоприемнике. Выполнение элементов волокнистого слоя с уменьшающейся по ходу потока плотностью упаковки способствует беспрепятственному осаждению оторвавшейся биопленки. После биореактора вода поступает на КФПЗ, перед которым вводится реагент. При возрастании суммарных потерь напора заряжается сифон и идет промывка установки. Область применения - мутность до 250 мг/л, цветность до 200, содержание водорослей до 15 тыс. кл./мл.

Биологические процессы хорошо вписываются в традиционные технологические схемы физико-химической очистки и, в ряде случаев, технико-экономически оправданы. Однако может снизиться санитарная надежность. Агрегаты бактерий, попадающие в воду при биологической очистке, и бактерии, закрепленные на носителе, более устойчивы к обеззараживанию, чем отдельные клетки. Большая часть из них непатогенны, но исключить возможность наличия патогенных микро-

организмов нельзя. Бактерии Coli не могут в данном случае служить индикатором, более надежным является общее микробное число (ОМЧ). В фильтрате ГАУ при отсутствии бактерий Coli обнаруживают большие количества бактерий других групп. Поэтому особое внимание следует уделять санитарно-гигиеническому контролю. После биологической очистки проводят хлорирование с повышенными дозами остаточного хлора, что может привести к необходимости последующего дехлорирования.

Контрольные вопросы

1. По какому показателю определяется биологическая стабильность воды?
2. Перечислите процессы биологической очистки.
3. Какие материалы могут служить носителями биопленки?
4. Какие технологические схемы биологической очистки используют?
5. Для удаления каких органических веществ целесообразна сорбция: биоразлагаемых или биорезистентных?
6. Назовите недостатки биологической обработки питьевой воды.

2.7. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Вода, являясь хорошим растворителем, содержит питательные вещества для развития микроорганизмов. Биологическое население водоемов содержит патогенные (возбудители болезней) микробы и их антагонисты. Последних больше. Однако человек своей деятельностью нарушает это равновесие, загрязняя воду источников (повышение температуры, снижение растворенного кислорода и т.п.), при этом увеличивается опасность развития патогенных микробов.

Вирусы не имеют клетчатой структуры, состоят из нуклеиновой кислоты, покрытой белковой оболочкой. Вирусы – внутриклеточные паразиты. Они не размножаются на искусственных средах, отсюда трудности при их анализе, необходимы специальные лаборатории. Энтеровирусы устойчивее бактерий к стандартным дезинфектантам – хлору и УФ.

В настоящее время ужесточен контроль процесса обеззараживания. Согласно СанПиН Украины [5] требуется определение следующих микробиологических показателей:

- ОМЧ – не более 100 кл/см³;

- коли – индекс – не более 3;
- индекс ФК (фекальные колиформы) – отсутствие в 100см^3 ;
- количество патогенных микроорганизмов – отсутствие в 1дм^3 ;
- количество колифагов - отсутствие в 1дм^3 .

Кроме того, стали нормироваться и паразитологические показатели:

- клетки и цисты - лямблии, криптоспоридии, дизентерийные амебы, балактидии, хламидии, гельминты – отсутствие в 1дм^3 ;
- количество патогенных кишечных простейших и гельминтов – отсутствие в 25дм^3 .

Наиболее распространен способ обеззараживания хлорированием. На большинстве станций применяют двойное хлорирование:

- для поддержания санитарного состояния сооружений предварительного окисления органических веществ и улучшения эффективности коагулирования - хлор вводят перед смесителем;
- для обеззараживания – перед резервуаром чистой воды (РЧВ).

Опыт эксплуатации показал:

1) в связи с загрязнением источников синтетическими и естественными органическими веществами при первичном хлорировании образуются постпродукты (вторичные продукты) – хлорорганические соединения и, в частности, тригалогенметаны (ТГМ), которые обладают канцерогенным действием;

2) при наличии спорных форм микроорганизмов эффективность обеззараживания хлором снижается, требуется суперхлорирование, т.е. хлорирование очень высокими дозами;

3) наблюдается повторный рост бактерий в очищенной воде, остаточный хлор не всегда является надежным барьером вторичного загрязнения воды в сети.

Можно отметить следующие тенденции в технологии обеззараживания питьевой воды:

- отказ от первичного хлорирования, что снижает вероятность появления опасных хлорорганических соединений;
- изменение точки ввода хлора, дробное хлорирование;
- переход на другие окислители - двуокись хлора, озон, гипохлориты;
- хлораммонизация;

- развитие других способов обеззараживания - электролиз, бактерицидные материалы для загрузки фильтров, ультрафиолетовое (УФ) облучение, ультрафильтрация.

По данным международного центра раковых исследований, нет достаточных оснований утверждать, что, употребляя хлорированную воду, люди рискуют заболеть раком. Поэтому хлор остается наиболее распространенным дезинфектантом.

Выбору способа и технологии обеззараживания должно предшествовать проведение тщательных микробиологических, химических, токсикологических и эпидемиологических исследований для оценки спектра воздействия реагента, вносимого в воду, на человека.

В связи с опасностью образования хлорорганики рекомендуется перед хлорированием воду максимально очистить. Хлорирование лучше производить после фильтров перед РЧВ с дозой за точкой перелома. Однако есть сведения о том, что отказ от первичного хлорирования приводит к ухудшению эффекта очистки от железа, марганца, снижается сорбционная емкость гидроокиси алюминия, сокращается фильтроцикл /США/.

Иногда рекомендуется вводить хлор между отстойниками и фильтрами. В Архангельске применено дробное хлорирование с уменьшением дозы первичного хлорирования. В последние годы находит применение УФ облучение на стадии первичной дезинфекции [18].

Ниже рассмотрены наиболее распространенные способы интенсификации обеззараживания:

1. Хлорирование с аммонизацией.
2. Использование соединений хлора – гипохлорита натрия или кальция и диоксида хлора.
3. Озонирование воды.
4. Ультрафиолетовое облучение.

2.7.1. Хлорирование с аммонизацией

Весьма эффективным методом борьбы с образованием хлорорганических соединений является аммонизация воды. В зарубежной литературе рекомендуют использовать монохлорамины для борьбы с повторным ростом бактерий в сети.

Связанный хлор имеет значительно меньшую реакционную способность и слабо взаимодействует с органическими веществами. Установлено, что при обработке природных вод связанным активным хлором ТГМ образуются значительно меньше, чем при хлорировании сво-

бодным активным хлором. При аммонизации хлоропоглощаемость воды снижается, хлор не расходуется на снижение окисляемости воды, а в основном, расходуется на обеззараживание, поэтому доза хлора уменьшается.

Процесс аммонизации не требует заметных дополнительных затрат, а прибыль от экономии хлора значительно перекрывает расходы на аммонизацию. При использовании аммиака процесс осуществляется на оборудовании существующих хлораторных, при работе с аммиачной водой можно использовать цех коагуляции. В качестве реагентов используют аммиак или сульфат аммония.

Различают преаммонизацию – ввод реагента перед смесителем, и постаммонизацию – аммиак вводят после фильтров перед резервуарами.

Хлораммонизация рекомендуется для продления срока действия хлора, особенно при длинных водоводах (более 5 км), длительном пребывании воды в распределительной сети (более 2-3 ч), при высокой хлоропоглощаемости и необходимости применения высоких доз хлора (более 5 мг/л). При большой протяженности водоводов рекомендуется поэтапное хлорирование по трассе водоводов.

На водопроводе г. Анапа из-за большой протяженности водовода и высокой хлоропоглощаемости остаточный хлор не сохранялся до конечных участков. Увеличение дозы в начале водовода не дало эффекта, так как остаточный хлор весь был в свободном виде и быстро расходовался на окисление, в том числе на коррозионные процессы. Введено трехэтапное хлорирование малыми дозами до 1 мг/л. Эффект был достигнут, но экономически не оправдан. Использование хлораммонизации позволило при том же расходе хлора обеспечить в сети остаточный хлор. В качестве реагента использован сульфат аммония. Соотношение аммиака и хлора обычно находится в пределах – 1: 4 – 1: 8. Аммиачная вода вводилась перед смесителем. При температуре менее 10⁰ С уменьшается раскисление хлора в водоводах и аммонизация не нужна.

На сооружениях МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга проведены испытания технологии постаммонизации [33]. Аммонизацию применяли на двух станциях. Характеристика воды источника: мутность М=1-6 мг/л, цветность Ц=30-70, сухой остаток - 100-220 мг/л, рН=7-7,6, общее железо - 0,3-1,4, окисляемость - 7-12, взвешенные вещества - 3-12, коли-индекс - 20-600.

Проблемы возникали при транспортировке по сети: протяженность сети 280 км, время пребывания – до 15 ч. Свободный хлор на станции составлял 0,3-0,5 мг/л, связанный - 0,8-1,2 мг/л. В сети содер-

жание суммарного хлора – 0,25-0,3 мг/л, свободный хлор отсутствовал. Проводили дополнительное хлорирование на насосной станции НС-3 со свободным хлором до 1-1,5 мг/л. Отмечалось ухудшение органолептических показателей и повышение агрессивности воды, повышение содержания железа в отдаленных точках сети. Регулярно проводятся гидропневматические промывки сети.

Связанный хлор обладает меньшей бактерицидной активностью, чем свободный, поэтому преаммонизация в ряде случаев снижает эффективность инактивации болезнетворных микроорганизмов, содержащихся в природной воде. Установлено, что связанный хлор оказывает очень слабое действие на цисты лямблий, в связи с этим было решено отрабатывать технологию постааммонизации воды с использованием сульфата аммония. Применение этого реагента, в отличие от газообразного аммиака и аммиачной воды, более технологично и безопасно, и позволяет внедрять аммонизацию воды на сооружениях без изменения существующей технологии с максимально простым приготвлением рабочего раствора и дозированием.

Рабочий раствор концентрацией 0,25– 0,5 % по иону аммония готовили аналогично коагулянту. Дозирование осуществляли щелевым дозатором, подачу к месту ввода – эжектором с дозой 0,1– 0,2 мг/л по иону аммония, соотношение аммоний/ хлор составляло 1:8-1:10. Вторичный хлор и аммоний вводились одновременно. Получено снижение расхода хлора на 5%.

Содержание хлороформа снизилось в среднем на 20%, что объясняется увеличением доли связанного хлора и уменьшением свободного. Отмечено, что до аммонизации образование хлорорганики продолжается и в очищенной воде на стадии вторичного хлорирования. Через сутки после введения аммонизации содержание связанного хлора стабилизировалось по всем точкам сети. Отказались от хлорирования на НС-3. Постааммонизация позволила снизить коррозионную активность в среднем на 13%. По отзывам населения, снизилась интенсивность хлорного запаха и привкуса.

На водопроводе г. Ярославля получены лучшие результаты при преаммонизации, что подтверждает необходимость пилотных исследований для выбора технологии аммонизации.

На основании полученного опыта к преимуществам аммонизации относят:

- экономию хлора и стабилизацию его в воде;
- предотвращение образования канцерогенных веществ;
- уменьшение коррозии стальных труб;

- снижение интенсивности запаха и привкуса хлора, особенно ощутимого летом.

Недостатком аммонизации является снижение бактерицидного действия, поэтому целесообразность этого метода некоторыми специалистами оспаривается.

2.7.2. Обеззараживание водными растворами хлора – гипохлоритами натрия или кальция

Гипохлориты получают путем электролиза растворов солей (хлористого натрия или кальция) – направленного движения ионов при погружении в раствор положительно и отрицательно заряженных электродов. На аноде происходит разряд ионов Cl^- , на катоде выделяется водород и образуется щелочь, диффундирующая к аноду и образующая с Cl гипохлорит натрия NaClO . Принципиальная схема электролизера приведена на рис. 2.47.

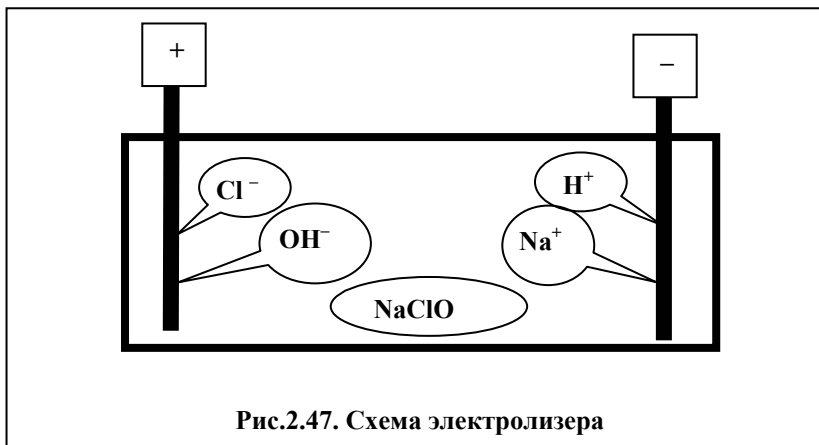


Рис.2.47. Схема электролизера

В СНГ выпускались электролизные установки непроточного типа ЭН-1 – ЭН-100, производительностью от 1 до 100 кг активного хлора в сутки [34]. Эти установки потребляют довольно много поваренной соли – от 8 до 15 кг на 1 кг активного хлора, а также электроэнергии – от 7 до 12 кВт-ч/кг активного хлора. Известен ряд зарубежных фирм, выпускающих электролизеры – Sanilec, Персон, и др. Расходы соли и электроэнергии здесь меньшие – на 1 кг активного хлора тратится 3 – 3,5 кг соли и 5,5 – 6,8 кВт-ч электроэнергии.

Схема электролизной установки для получения гипохлорита натрия приведена на рис. 2.48.

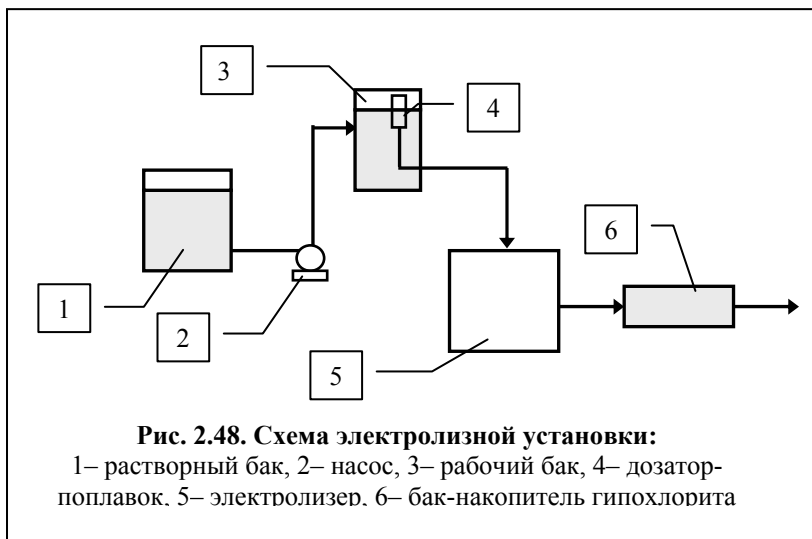


Рис. 2.48. Схема электролизной установки:

1– растворный бак, 2– насос, 3– рабочий бак, 4– дозатор-поплавок, 5– электролизер, 6– бак-накопитель гипохлорита

Известны электролизные установки для обеззараживания воды типа «Аквахлор». Здесь электролизер дополнительно оборудуется мембраной и вырабатывается смесь оксидантов (диоксид хлора, озон и др.). Как утверждают разработчики, установки отличаются малым удельным расходом электроэнергии на синтез хлора (не более 2,0 кВтч/кг) и малым удельным расходом соли – не более 1,8 кг на 1 кг хлора.

Основным препятствием внедрению электролизных установок для получения обеззараживающих реагентов являются их экономические параметры. Так, электролизеры типа ЭН заметно проигрывали жидкому хлору при больших производительностях, в основном, из-за больших расходов электроэнергии. Поэтому их рекомендовали применять при малых производительностях сооружений – до 5 тыс. м³/сут. Установки «Аквахлор» отличаются высокой первоначальной стоимостью – около 100 тыс. долларов США при производительности 4 кг/ч.

2.7.3. Обеззараживание воды диоксидом хлора

Использование двуокиси хлора ClO_2 относится к обеззараживанию методом хлорирования. Это один из хлорреагентов. В ряду реа-

гентов для хлорирования: жидкий хлор, гипохлорит натрия и кальция, диоксид хлора – последний обладает самым высоким окислительно-восстановительным потенциалом и самой высокой бактерицидностью.

Диоксид хлора – газ желто-зеленого цвета с запахом более интенсивным, чем у хлора, легко растворяется в воде, взрывоопасен. Его можно получить взаимодействием хлорита натрия со следующими веществами: хлором, соляной кислотой, метанолом, щавелевой кислотой, древесными опилками в сернокислой среде, озоном.

В промышленности распространен, в основном, метод хлорирования водного раствора хлорита натрия, как наиболее технологичный (рис.2.49).

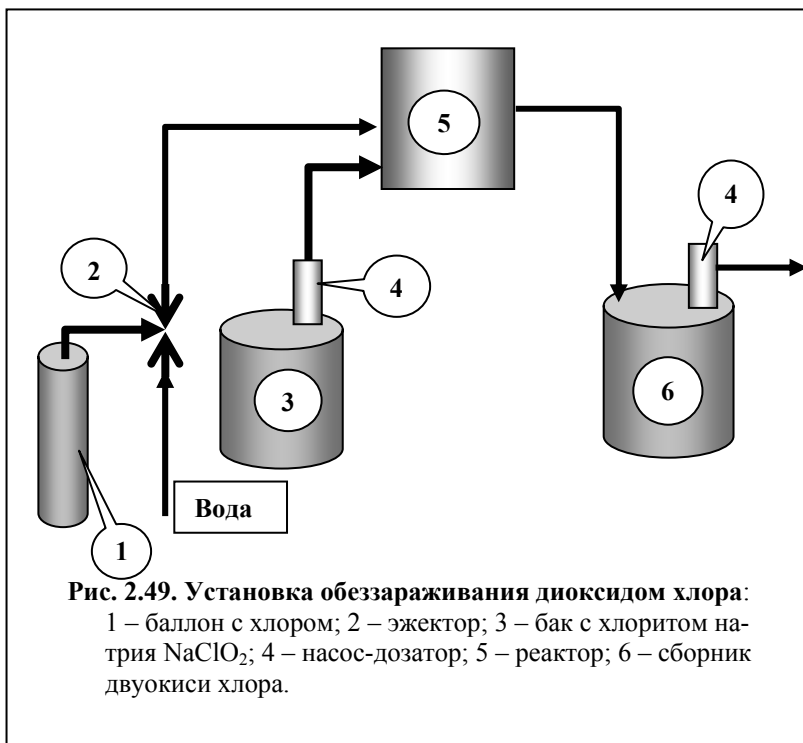


Рис. 2.49. Установка обеззараживания диоксидом хлора:
1 – баллон с хлором; 2 – эжектор; 3 – бак с хлоритом натрия NaClO_2 ; 4 – насос-дозатор; 5 – реактор; 6 – сборник двуокиси хлора.

В СССР исследования двуокиси хлора как дезинфицирующего агента велись с 1937 г. Было подтверждено высокое дезодорирующее и бактерицидное действие двуокиси хлора, при этом вода не приобретала посторонних привкусов и запахов.

Однако двуокись хлора легко взрывается от электрической искры, при прямом солнечном освещении или нагревании до 600°C , при соприкосновении со многими органическими веществами; исходный реагент – хлорит натрия токсичен, легко воспламеняется. Это создает определенные технологические трудности в его применении в водообработке. Однако хлорит натрия взрывоопасен при высоких концентрациях, а если осуществляется поставка с низкими концентрациями, то такой опасности нет.

Механизм бактерицидного действия у жидкого хлора и диоксида хлора близкий. Но химизм процесса хлорирования разный – ClO_2 мало гидролизуется. Считается, что бактерицидное действие оказывают молекулы ClO_2 .

ClO_2 - сильный окислитель, близкий по действию к озону. Этим объясняют более глубокое окисление органических веществ, фенолов без образования посторонних запахов. Дозы хлора и диоксида хлора, необходимые для обеззараживания, примерно одинаковы - $0,25 - 2,0$ мг/л. Однако, время контакта у диоксида меньше: диоксид – $0,5$ ч, хлор – 1 ч. Необходимые дозы остаточного хлора различны. Пороговые концентрации определяют по влиянию на запах и привкус воды, степени поглощения в полости рта и желудка, а также по токсикологическому признаку. Для свободного активного хлора эта доза по запаху и привкусу – $0,5$ мг/л; по токсикологии для хлора – 2 мг/л, для диоксида хлора – $0,5$ мг/л.

Следует отметить большую стабильность остаточного хлора при обработке воды диоксидом хлора, остаточный хлор сохраняется во всей распределительной сети, т.е. последствие его более длительное, чем у хлора.

Целесообразно применение диоксида хлора для вод, содержащих фенолы, органические вещества, аммонийные соли, железо, марганец, а также при высокой природной щелочности.

Диоксид хлора используется на 150 очистных станциях США, 500 станций ФРГ, во Франции и Швейцарии (данные 1985 г.). В последние годы находит применение на Украине [35] (одна из возможных схем – см. рис.2.49).

К преимуществам обеззараживания двуокисью хлора относят:

- сильный окислитель (приближается к озону);
- не образует хлорфенольных запахов;
- меньше время контакта;
- не реагирует с аммонийными солями;
- большая стабильность остаточного хлора;

- на эффект обеззараживания не влияет увеличение pH среды;
- не образует постпродуктов, обладающих канцерогенными свойствами и мутагенной активностью.

Недостатки:

- высокая стоимость оборудования и реагентов;
- технологические трудности;
- возможность использования только на месте получения;
- не уменьшает землистые и тинные запахи;
- оказывает отрицательное влияние на щитовидную железу и может служить причиной острых токсикозов;
- возможность восстановления диоксида хлора веществами, находящимися в воде, до исходного токсичного хлорита натрия;
- низкая пороговая концентрация;
- требуется высокая точность дозирования.

2.7.4. Озонирование

Озон (O_3) является сильным окислителем, разрушающим ферменты бактерий примерно в 20 раз быстрее хлора. В СНГ вода озонируется на крупных водопроводных станциях – Днепровская (г. Киев), Восточная (г. Москва, производительность 1,2 млн. $m^3/сут$) и других.

Озонирование имеет ряд существенных преимуществ перед хлорированием:

- не образуются соединения, создающие привкусы и запахи, а также токсичные и канцерогенные хлорорганические вещества;
- достигается более полная стерилизация воды и дезактивация вирусов при достаточной дозе озона;
- улучшаются органолептические показатели качества воды – удаляются запахи и привкусы, снижается цветность;
- разлагаются поверхностно-активные вещества (ПАВ), удаляются фенолы, сероводород, железо, марганец.

Таким образом, озон обладает широким спектром воздействия на воду. Поэтому его целесообразно применять не только для обеззараживания воды – это метод комплексной обработки воды.

В качестве примера на рис.2.50 приведена технологическая схема, при которой озон может вводиться трижды.

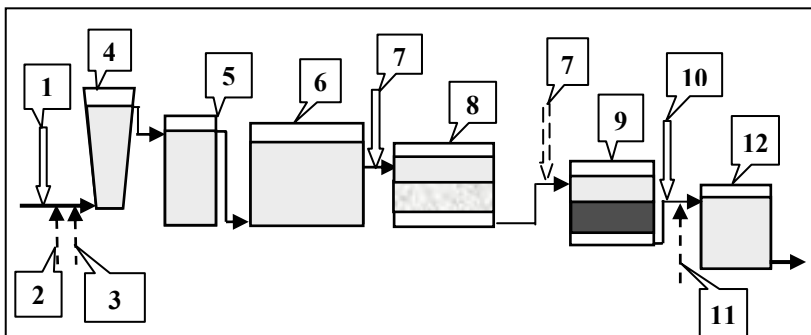


Рис. 2.50. Схема станции очистки воды с использованием окислительно-сорбционной технологии:

1 – первичное озонирование, 2 – первичное хлорирование (при необходимости), 3 – ввод коагулянтов, 4 – смеситель, 5 – камера хлопьеобразования, 6 – отстойник, 7 – вторичное озонирование, 8 – скорый фильтр, 9 – сорбционный угольный фильтр, 10 – третичное озонирование, 11 – вторичное хлорирование, 12 – резервуар чистой воды.

К недостаткам озонирования, кроме сложности оборудования и больших энергозатрат, относят:

- озон, как и хлор, образует вторичные продукты: альдегиды, кетоны, карбоксидные смолы, обладающие токсичным действием;
- споровые формы бактерий устойчивы к озонированию;
- выше требования по технике безопасности – ПДК озона в 10 раз меньше, чем хлора, озонаторные станции имеют высоковольтное электрооборудование.
- поскольку озон является токсичным газом и плохо растворяется в воде, необходима деструкция озонозудушной смеси при неполном ее поглощении;
- отмечается активная коррозия труб;
- озон быстро разлагается и не обладает последствием, поэтому в воду после озонирования приходится вводить небольшие дозы хлора.

Опыт внедрения озонирования в г. Ярославле [36] показал, что при первичном озонировании повторный рост микроорганизмов может привести к интенсивным биологическим обрастаниям в очистных сооружениях, особенно в загрузке скорых фильтров, что потребовало периодической обработки сооружений высокими дозами хлора. Необходимо тщательный подбор доз озона, на данной станции доза озона не превышала 2 мг/л.

Опыт Восточной станции г. Москвы также подтверждает увеличение концентрации зоопланктона в воде, обработанной озоном; не снижается окисляемость. Однако увеличивается срок службы гранулированного активного угля (ГАУ), достигается обесцвечивание воды.

Фирма «Трейлигаз» проводила испытания озонирования в г. Волгограде [37]. Отмечено, что обеззараживание обеспечивалось в достаточной степени. Однако образуются постпродукты - броматы, альдегиды и др. Метод взрывопожароопасен, токсичен при эксплуатации и требует значительных финансовых затрат. При технико-экономическом сравнении озонирования и УФ облучения предпочтение отдано последнему методу.

Накопленный опыт позволяет рекомендовать следующее:

- озон следует вводить до хлора;
- место ввода сильно зависит от качества воды – необходима гибкая схема с варьированием точек ввода;
- при озонировании наблюдается флотация взвеси, что может привести к нарушению работы отстойников и осветлителей со слоем взвешенного осадка, поэтому может оказаться целесообразным перевод первой ступени на флотацию;
- после озонирования необходима сорбционная очистка на ГАУ;
- озон и хлор не конкуренты, а дополняющие друг друга реагенты;
- выбор места ввода и доз следует делать путем пилотных исследований.

Для сравнительной оценки эффективности реагентного обеззараживания в последние годы стали использовать критерий СТ, равный произведению дозы введенного реагента (С, мг/л) и времени контакта воды с обеззараживающим реагентом до поступления к потребителю (Т, мин). Рекомендуемые в СанПиН значения СТ, обеспечивающие инактивацию энтеровирусов на 99,99% для поверхностных вод приведены в табл. 2.4, а в табл. 2.5 даны значения СТ при использовании разных дезинфектантов.

Таблица 2.4. Критерий СТ при обеззараживании поверхностной воды хлором

Остаточный активный хлор, мг/л	Критерий СТ при значениях pH				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
0,4	92/70	114/90	140/105	170/130	200/150
0,6	100/75	124/95	150/115	180/140	220/165
0,8	105/80	130/100	160/120	190/145	230/170
1,0	110/85	135/105	170/125	200/150	240/180

Примечание: числитель – температура воды 5⁰С, знаменатель – 10⁰С.

Таблица 2.5. Критерий СТ при обеззараживании поверхностной воды разными окислителями

Дезинфектант, остаточная доза, мг/л	рН	Критерий СТ при температуре воды, °С				
		0,5	5	10	15	20
Хлор- газ, 2мг/л	6	60	40	30	20	15
	7	90	60	40	30	20
	8	130	90	60	50	30
	9	170	120	90	60	45
Диоксид хлора	6-9	27	18	13	9	7
Хлорамин		1100	770	570	370	220
Озон, 0,3мг/л		1,5	1	0,8	0,7	0,5

Анализ приведенных таблиц позволяет сделать выводы:

1. Температура воды заметно влияет на эффект обеззараживания - чем она ниже, тем должен быть большим критерий СТ.
2. При использовании хлора снижение рН позволяет уменьшить дозу или время контакта.
3. Эффективность обеззараживания возрастает в ряду:
хлорамин < хлор-газ < диоксид хлора < озон.

2.7.5.Ультрафиолетовое облучение

Бактерицидное действие УФ – лучей с длиной волны 240-280 нм (максимальный эффект – при 254 нм) известно с 1877г. УФ вызывает фотохимические изменения в структуре микроорганизмов. Доза облучения – произведение интенсивности облучения на время, это мера бактерицидной энергии, переданной микроорганизму (размерность - мДж/см²).

В последние годы все более широкое применение для обеззараживания получает бактерицидное облучение. Разработан и предлагается разными фирмами широкий ассортимент оборудования с УФ лампами, рассчитанного на обработку подземных и поверхностных вод в большом диапазоне производительностей. УФ облучение обеспечивает вирулицидный эффект при соответствующих дозах облучения – 16 – 40 мДж/см². При использовании УФ не изменяется химический со-

став воды, оборудование компактное, в ряде случаев возможна установка бактерицидных ламп прямо в водоводе.

Однако необходимо предотвращать возможность повторного загрязнения в сети. Поскольку УФ облучение не обеспечивает последствия – здесь, как и при применении озона, воду приходится хлорировать на выходе из станции очистки.

При разработке проекта реконструкции очистной станции г. Нижнекамска вместо первичного хлорирования ввели УФ. Первичное хлорирование проводят периодически дозой не более 2 мг/л совместно с УФ. В результате испытаний, проведенных фирмой НПО «Лит» в г. Волгограде, принята оптимальной довольно высокая доза облучения – 60 мДж/см². При этом отмечено снижение перманганатной окисляемости.

На Рублевской станции г. Москвы при реконструкции также применили УФ вместо первичного хлорирования. Есть сведения о совместном использовании озона и УФ. В узкий зазор между стенками ртутной лампы и кварцевого чехла подают воздух (рис.2.51). За счет фотохимических реакций под действием УФ лучей из кислорода образуется озон (фотолиз озона световой волной длиной 1000-2000 А).

Контрольные вопросы

1. Каковы причины низкой эффективности обеззараживания воды хлорированием?
2. Перечислите пути совершенствования процесса обеззараживания.
3. В каких случаях целесообразна хлораммонизация?
4. Какова технологическая схема обработки воды при использовании озона?
5. Какие Вы знаете способы обеззараживания кроме хлорирования?
6. Почему при озонировании воды применяется также и хлорирование?
7. Какие способы обеззараживания обладают вируцидным действием?
8. Чем в настоящее время рекомендуют заменять первичное хлорирование?
9. В каких случаях возможно обеззараживание питьевой воды только УФ-лампами?

3. РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

3.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Система подачи и распределения воды (СПРВ) состоит из насосных станций, водоводов, магистральных и распределительных сетей, работающих совместно. Поэтому целесообразна следующая методика обследования и анализа:

1. Определяются фактические характеристики действующего оборудования насосных станций, и производится его предварительный анализ.
2. Изучаются характеристики водоводов и магистральных линий сети.
3. Производится совместный анализ работы СПРВ и вырабатываются рекомендации по возможным вариантам реконструкции и интенсификации.

Для последующих расчетов необходимо знать, сколько система потребляет воды и сколько воды ей необходимо для нормального функционирования. Этот вопрос рассматривается в следующем разделе.

3.1.1. Определение расчетных расходов

Долгое время своеобразным показателем культурно-бытовых условий жизни населения считался фактический уровень потребления воды на 1 чел. В настоящее время средняя подача воды жителям, как правило, удовлетворяет самым высоким требованиям гигиенистов. Так, жизненно необходимая норма водопотребления составляет 110-115 л/(сут. чел). В то же время СНИП [9] рекомендует нормы от 125 до 350 л/(сут. чел). Завышение норм связано с неучтенными расходами в системах водоснабжения, достигающих на Украине 20-40%. Кроме того, на завышение норм и увеличение фактического потребления влияют традиционное представление о воде как о даровом и "вечном" природном сырье.

Анализ необходимых расходов ведут по основным группам потребителей:

1. Население.
2. Промышленность.
3. Поливка, мойка покрытий проездов.

Население

По генплану и проектам детальной планировки город разбивают на районы с одинаковой плотностью населения, степенью благоустройства и производят расчет водопотребления по методике СНиП 2.04.02-84 с учетом действующих норм. Затем выбирают типовые здания, крупные гостиницы и т.п. и проводят выборочные обследования и замеры водопотребления. Естественно, важнейшим источником информации являются данные абонентных отделов Водоканалов. Анализируя результаты обследования и расчетов, уточняют фактическое водопотребление.

Для снижения водопотребления населения можно использовать:

- широкую информацию населения о работе и проблемах системы водоснабжения (кино, радио, телевидение, экскурсии, брошюры и т.п.), сегодня в Водоканалах создаются отделы связи с общественностью;
- установку квартирных счетчиков и соответствующей платы за воду;
- снижение утечек.

Неучтенным расходом или утечкой [38] принято считать разность между количеством воды, поданной в городскую сеть и полезно отпущенной, т.е. проданной воды.

Термин «неучтенный расход» воды не исчерпывает всех потерь, имеющих при эксплуатации городского водопровода. В ряде случаев расход воды может быть учтен и оплачен, но вода израсходована нерационально.

Утечки и неучтенный расход воды делятся на три группы:

1. Неучтенные расходы воды.

К этой группе относятся хищение воды, а также утечки:

- а) из труб наружной городской сети;
- б) на внутренних присоединениях при отсутствии на них расходомеров или при недостаточной их чувствительности;
- в) из водоразборных колонок;
- г) при авариях и разрывах труб в результате замерзания.

2. Вода, учтенная измерительными приборами, но израсходованная бесполезно.

К этой группе относятся:

- а) потери воды на внутренних присоединениях и сетях при неисправности санитарных приборов;

б) нерациональные расходы воды промышленными предприятиями (использование воды для производственных целей без ее оборота и др.)

3. Полезные расходы воды, учтенные счетчиками или нормами водопотребления, но не оплачиваемые потребителями.

К этой группе относятся:

а) расход воды на собственные нужды водопроводно-канализационных предприятий;

б) расход воды на пожаротушение и пожарные учения.

Борьба с утечками на водопроводной сети

Для обеспечения бесперебойной работы водопроводной сети и борьбы с утечками воды необходимо соблюдение следующих условий:

1. Сеть должна быть закольцована, тупиковые линии могут применяться в исключительных случаях.

2. На сети должны быть установлены в необходимом количестве:

- задвижки для выделения отдельных участков сети на время ремонта или повреждения. Они располагаются в колодцах, т.к. к ним должен быть обеспечен свободный доступ для обслуживания;
- вантузы, служащие для выпуска воздуха из трубопроводов и устанавливаемые в самых высоких точках сети;
- предохранительные клапаны для предотвращения гидравлических ударов в сети;
- пожарные гидранты для отбора воды из сети на случай пожара.

3. Вся водопроводная сеть и арматура должны содержаться в нормальном техническом и санитарном состоянии.

4. Важнейшим мероприятием, обеспечивающим нормальную эксплуатацию водопроводной сети и предохраняющим ее от потерь воды, является планово-предупредительный осмотр и ремонт сети, который складывается из следующих основных элементов:

- систематический осмотр всей трассы водопровода для обнаружения видимых утечек воды, проверка целостности люков и крышек колодцев;
- осмотр и профилактический ремонт сетевой арматуры и т.п.

Борьба с потерями воды во внутренней сети

Потери воды в жилых и общественных зданиях происходят, главным образом, из-за неисправности санитарных приборов [40,41].

Если на вводе установлен счетчик воды, то эти утечки учитываются и оплачиваются абонентом, но все же они должны рассматриваться как непроизводительный расход, т.е. как потери воды. Если же счетчики не установлены, то неисправность санитарных приборов создает прямые убытки для водопроводно-канализационного предприятия.

Небольшие утечки в домах ночью иногда не учитываются счетчиками, так как малые расходы воды могут находиться ниже порога их чувствительности.

Утечки в домах через санитарные приборы резко увеличиваются ночью при повышении давления в городской сети (особенно через санитарные приборы, расположенные на нижних этажах и работающие под более высоким давлением).

Для снижения утечек из санитарных приборов целесообразно осуществлять:

1. Систематический осмотр и ремонт санитарных приборов, установленных в домах.
2. Разработку рационального режима работы насосных станций со снижением подачи воды и давления в сети в часы минимального водоразбора.
3. Установку на вводах у абонентов автоматических регуляторов давления для обеспечения работы санитарных приборов в условиях постоянного режима и т.п.

Причины возникновения утечек и нерационального использования воды и меры по их устранению приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1. Причины и меры устранения утечек и нерационального использования воды.

Причины	Меры устранения
Внутренние сети	
1. Нерациональные расходы из-за избыточных напоров.	1. Установка регуляторов давлений.
2. Неисправная арматура.	2. Совершенствование водоразборной арматуры. Повышение уровня эксплуатации (профилактические работы).

3. Слив охлажденной воды из системы горячего водоснабжения из-за неудовлетворительной циркуляции.	3. Организация естественной или принудительной циркуляции воды в системах горячего водоснабжения.
Наружные сети	
4. Низкое качество строительства, плохое качество труб и арматуры, коррозия металлических труб.	4. Повышение качества строительства, внутренняя и наружная изоляция труб, электрозащита, использование труб, устойчивых к коррозии (пластмасса, чугун и т.п.), улучшение качества труб и стыков.
5. Избыточные напоры.	5. Снижение избыточных напоров (башенные схемы, зонирование, увеличение числа насосных станций, разработка АСУВ).

Заметный вклад в потери воды дают избыточные напоры. По данным НИИКВОВ [42,43] на каждые 10м избыточного напора расход возрастает на 5-8%.

Общие потери воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения в Украине крайне велики. Так, в Одессе они достигают 41% от общей подачи.

Промышленные предприятия

Вода, подаваемая городскими водопроводами, предназначена для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых потребностей населения и работников предприятий, а также для обеспечения некоторых предприятий, которые нуждаются в воде питьевого качества. К таким относятся в первую очередь пищевые предприятия.

Расходование воды из водопроводной городской сети в тех случаях, когда не требуется вода питьевого качества, является совершенно недопустимым.

Работники водопровода должны стремиться к сведению до минимума расходов питьевой воды для нужд промышленных предприятий, не требующих воды питьевого качества.

Наиболее часто в большом количестве промышленные предприятия воду расходуют на охлаждение двигателей, компрессорных установок, машин, холодильных конденсаторов и пр. Между тем, охлаждающие воды часто не относятся к категории вод питьевого качества и могут быть заменены водой технической или оборотной, т.е. используемой несколько раз.

На многих предприятиях питьевая вода расходуется на технологические цели, хотя технология данного производства не требует воды питьевого качества. Вода также расходуется для испытания герметичности резервуаров и котлов, для промывки отдельных деталей и т.д. На все эти нужды также должны быть использованы оборотные воды или вода из собственных источников. В отдельных цехах, где требуется вода питьевого качества, ее расходование осуществляется не экономично. Отсутствуют устройства, прекращающие подачу воды в те моменты, когда расход ее не вызывается необходимостью. Это приводит к излишкам расхода воды, которые хотя и оплачиваются потребителем, но используются нерационально и потому являются прямыми потерями.

Таким образом, работники водопроводно-канализационного предприятия совместно с администрацией данного предприятия должны произвести тщательное обследование, в результате которого определить, какое количество и какого качества вода требуется для каждого производственного процесса.

На основании проведенного обследования и расчетов предприятию предъявляется технически обоснованное требование о сокращении расхода питьевой воды путем ее рационального использования, об организации оборотных систем или устройства самостоятельных водозаборов.

Решением городских властей каждому предприятию должен задаваться лимит расхода питьевой воды в зависимости от объема работ, устанавливается срок для организации оборотного водоснабжения, использования собственных источников водоснабжения или проведения других мероприятий с целью экономии питьевой воды. Причем этот лимит может начать действовать через определенный срок, в течение которого предприятие должно сократить водопотребление до заданного значения. По истечении указанного срока подача воды от городского водопровода предприятиям сокращается в пределах установленного лимита. Перерасход лимита влечет за собой штрафные санкции.

Для определения фактического водопотребления предприятий и необходимого расхода воды проводят анкетирование предприятий с указанием места их расположения, схемы подключения к водопроводной сети, использования воды в технологическом процессе и режима ее отбора из сети, расходов воды в целом по предприятию и, при необходимости, по отдельным цехам (технологическим линиям). Для наиболее крупных потребителей воды производят обследование с целью определения фактического водопотребления.

Полученные данные сравнивают с расчетными, определенными по действующим нормативам. Для предприятий с расходами, превышающими нормативные, проводят обследование с целью выявления нерационального потребления воды и разработки рекомендаций по его снижению.

Основные пути снижения водопотребления на предприятиях:

- совершенствование технологий основных производств – использование безводных или маловодных технологий;
- внедрение оборотных систем с повторным и кооперативным использованием воды;
- установка счетчиков воды (расходомеров) и совершенствование платы за воду (штрафы за перерасход воды);

Наиболее действенным способом снижения максимальных часовых расходов воды, отбираемых из водопроводной сети, является установка регулирующих емкостей на территории предприятия (например, башен или резервуаров на вводах). Заполнение этих емкостей может быть автоматизировано, например, по времени - в часы минимального водопотребления.

Поливка

Ориентировочное количество воды, отбираемой из системы хозяйственно-питьевого водоснабжения на поливку, может быть определено по данным отделов водосбыта Водоканалов. Полученные расходы сравнивают с расчетными, определенными по методике СНиП 2.04.02-84 [9]. Фактические расходы воды на поливку и мойку проездов могут быть меньшими, чем расчетные, просто из-за плохой работы соответствующих служб.

Для снижения расходов воды, отбираемых из системы подачи и распределения воды, а также для уменьшения максимально-часовых расходов используют следующие способы:

- рассматривают возможность и целесообразность поливки доочищенной сточной водой или поверхностной водой из близлежащих водоемов;

- для снижения отбора из наружных сетей предусматривают строительство резервуаров на сети для заправки поливочных машин;
- заполнение этих резервуаров производят из водопроводной сети в часы минимального водопотребления, для чего предусматривают соответствующую автоматику.

После определения расходов по всем группам потребителей входят необходимые расходы (максимальные, средние и минимально-часовые для суток максимального, среднего и минимального водопотребления). Следует отметить, что в некоторых случаях перечисленные способы сокращения водопотребления позволяют обеспечить необходимое водопотребление населенного пункта при его развитии, без каких либо заметных капиталовложений.

3.1.2. Насосные станции

Основным этапом обследования насосных станций является паспортизация насосов, при которой устанавливают:

- а) марки насосов;
- б) диаметр колес;
- в) число оборотов;
- г) марки электродвигателей и их параметры;
- д) фактические характеристики насосов:
 - подача – напор – $H(q)$;
 - подача – мощность – $N(q)$;
 - подача – допустимый вакуум – $H_{\text{вак}}(q)$;
 - подача – КПД – $\eta(q)$ (рассчитывается).

Фактическая характеристика насосов может заметно отличаться от заводской. Поэтому согласно Правилам технической эксплуатации фактические характеристики насосов должны определяться не реже 1 раза в 2 года. Методика определения характеристик насосов нормируется ГОСТ 6134 – 87.

Перед снятием характеристик измеряют диаметры трубопроводов, проверяют вертикальность положения приборов для измерения давления и вычисляют постоянные измерительных приборов. Все приборы должны быть предварительно поверены.

Перечень необходимых приборов приведен ниже:

1. Вакуумметры.
2. Манометры.
3. Расходомеры (желательно на каждом насосе).
4. Ваттметры или амперметры и вольтметры.

При измерениях следует применять приборы давления с классом точности не более 2,5. В процессе испытания шкала прибора должна использоваться не менее чем на 2/3.

При испытаниях подачу насосов (центробежных) изменяют от 0 до $Q_{\text{макс}}$ с интервалом не более 12% номинальной подачи при помощи задвижки на напорном трубопроводе и записывают соответствующие напоры и мощности. Рабочих точек должно быть не менее 10. Показания приборов записывают только при установившемся режиме. Продолжительность замера - не более 15 с, последовательность при всех режимах работы - одна и та же.

Схема испытания насоса приведена на рис.3.1.

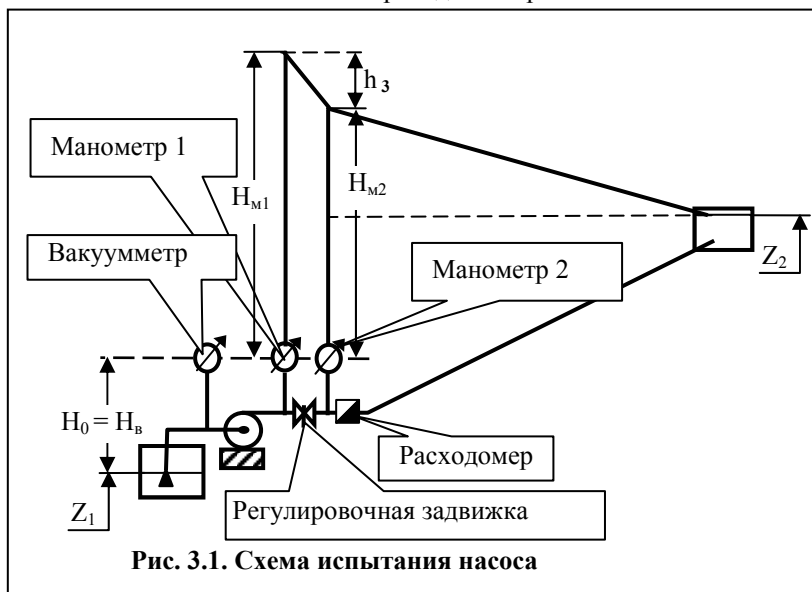


Рис. 3.1. Схема испытания насоса

Порядок проведения испытаний следующий:

1. Измеряются отметки воды в резервуарах (Z_1 и Z_2) и снимаются показания вакуумметра (H_0) и манометра (H_{M2}) при нулевой подаче (регулировочная задвижка закрыта - $Q=0$) и определяется геометрическая высота подъема воды:

$$h_z = Z_2 - Z_1 = H_{M2} + H_0 = H_{M2} + H_v,$$

2. Варьируя подачу регулировочной задвижкой, измеряют расход, мощность, напоры до и после задвижки H_{M1} и H_{M2} и отметки воды в резервуарах (Z_1 , Z_2).

3. Напор насосов (м) рассчитывается по формулам:

$$H = H_{\text{ман}} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g}, \quad (3.1)$$

$$H_{\text{ман}} = H_{M2} - H_{M1} + Z_H - Z_B, \quad (3.2)$$

где $H_{\text{ман}}$ – манометрический напор, определяемый по показаниям манометров на напорной (H_{M1}) и всасывающей линиях (H_B)⁶, м;

V_H и V_B – скорости в напорном и всасывающем патрубках насосов, м/с;

Z_H и Z_B – отметки осей манометров на напорном и всасывающем трубопроводах, м;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

При отсутствии манометра (вакуумметра) на всасывающей линии насоса допускается определять напор по уровню воды в резервуаре (рис.3.2). В этом случае формула (3.2) принимает вид

$$H_{\text{ман}} = H_{M1} + Z_H - Z_P + h_{\text{вс}}, \quad (3.2.1)$$

где Z_P – отметка воды в резервуаре, определяемая по показаниям уровнемера, м, (эти показания должны быть связаны с отметкой оси манометра на напорной линии);

$h_{\text{вс}}$ – потеря напора во всасывающей линии от резервуара до насоса, м, определяемая по формуле:

$$h_{\text{вс}} = \Sigma \zeta V^2 / 2g + 1000iL,$$

или по приближенной формуле –

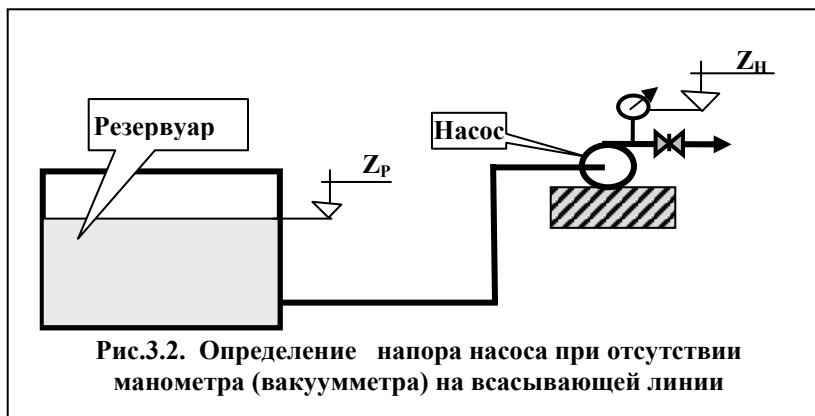
$$h_{\text{вс}} = k_m 1000iL$$

где $k_m = (1,1-1,5)$ – коэффициент, учитывающий местные сопротивления;

L – длина всасывающей трубы от резервуара до насоса, км;

$1000i$ – гидравлический уклон, м/км, который можно определить по таблицам Ф.А.Шевелева [39] в зависимости от диаметра трубы, ее материала и расхода.

⁶ При установке на всасывающей линии вакуумметра давление в формуле (3.2) берется со знаком минус.

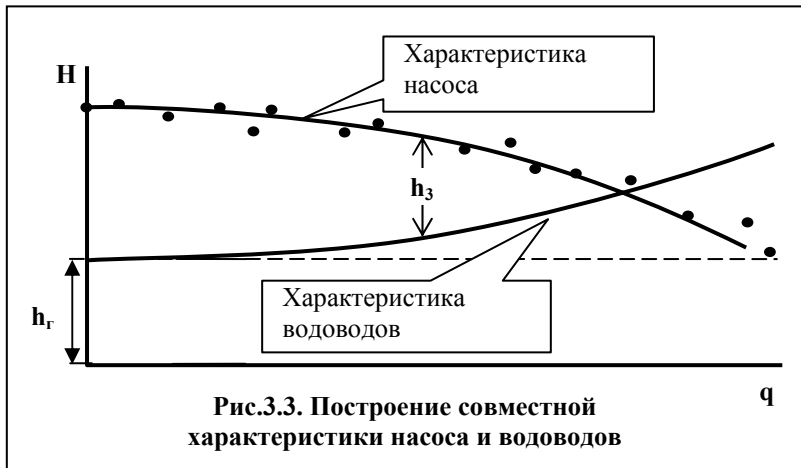


При одинаковых диаметрах напорного и всасывающего патрубков ($V_H = V_B$) напор насоса равен манометрическому напору, определяемому по формулам (3.2) или (3.2.1).

В результате получают зависимость напора насосов, потери напора в задвижке и характеристики водоводов от подачи:

$$H = H(q), \quad h_3 = h_3(q) = H_{M1} - H_{M2}, \quad h_в(q) = H(q) - h_3.$$

4. По результатам замеров строят характеристику $H-q$ насоса (рис.3.3).



Обработка результатов замеров может быть выполнена с помощью стандартной программы Microsoft Excel. При этом для аппроксимации результатов замеров целесообразно использовать полином вто-

рой или третьей степени. Для оценки степени достоверности аппроксимации программа автоматически подсчитывает коэффициент корреляции.

Основные затруднения при получении расходно-напорной характеристики насосов связаны с определением подачи каждого насоса. Дело в том, что расходомеры на каждом насосе устанавливают редко, поэтому приходится пользоваться общими расходомерами на выходе из насосной станции. В этом случае приходится работать поочередно каждым насосом⁷.

При использовании общих расходомеров насосной станции может оказаться, что подача испытываемого насоса (особенно при малых значениях расходов) окажется за пределами чувствительности этих расходомеров. Кроме того, необходимо проконтролировать, что весь расход испытываемого насоса проходит через расходомер, и нет утечек воды через неплотно прикрытые задвижки. Еще хуже ситуация в тех (еще, к сожалению, нередких) случаях, когда в насосной станции вообще нет расходомеров. Тогда расход приходится определять объемным способом – по опорожнению или заполнению резервуаров чистой воды. В этих случаях приходится предварительно получить зависимость объема воды в резервуаре от уровня. Трудоемкость и погрешность испытаний при этом возрастают. Здесь также приходится контролировать плотность закрытия задвижек.

Замер подачи насосов может быть произведен с помощью переносных ультразвуковых расходомеров (УЗР) с накладными датчикам. Такие датчики, как и для других типов расходомеров, требуют определенных длин прямых участков до и после них без каких-либо местных сопротивлений, однако эти расстояния меньшие, чем для других расходомеров. Проблемы с измерением расходов при использовании УЗР могут возникнуть при малых значениях расходов, когда погрешность сильно возрастает.

5. Одновременно с замерах давлений и расходов определяется мощность, потребляемая электродвигателем. Проще всего это сделать при наличии счетчиков активной электроэнергии, если такими счетчиками оборудован каждый насос. Продолжительность замера для каждого расхода должна быть не менее 30 с. Если счетчиков нет, то замер мощности (кВт) можно произвести с помощью амперметра и вольтметра по формуле:

$$N = \sqrt{3} U A \eta_o \cos \varphi / 1000 ,$$

⁷ Такие замеры приходится производить в ночное время.

где U - напряжение фазы, В;

A – ток фазы, А;

$\cos \varphi$ –коэффициент мощности;

η_0 – КПД двигателя ($\cos \varphi$ и η_d принимают по данным длительной эксплуатации).

Обработку результатов замеров производят аналогично обработке расходно-напорной характеристики (см. п.4).

6. Коэффициент полезного действия насоса вычисляется по формуле:

$$\eta = qH/102N,$$

где q и H - подача (л/с) и напор (м) насоса.

Вычислив η для каждой точки, строят график зависимости $\eta(q)$, затем обрабатывают его аналогично п.4.

7. При обследовании насосных станций фиксируют данные об электродвигателях насосов (марка, тип, год выпуска, мощность и т.п.).

8. В процессе обследования собирают информацию, необходимую для последующих этапов анализа СПРВ:

- суточная подача по сезонам года (максимальная, средняя и минимальная);
- почасовые графики подачи воды и соответствующие напоры на выходе из насосной станции;
- наиболее часто используемые сочетания работающих насосов;
- способы регулирования подачи и управления работой насосной станцией.

Показанная на рис. 3.1 схема испытаний позволяет одновременно с характеристиками насосов получить и характеристику системы, на которую работает насосная станция. Для того, чтобы получить характеристику водоводов, необходимо от характеристики насосов отнять (отложить вниз) потери напора в задвижке h_z , измеренные при разных расходах (см.п.4). Для контроля правильности замеров используется величина геометрического подъема воды h_r , определенная в п.1-кривая $H-q$ водоводов должна стремиться к h_r при $q=0$. Потери напора в коммуникациях насосной станции в данном случае включены в потери в водоводах.

Описанная методика дает возможность получить характеристику системы водоводов, сети, (или водоводы и сеть) в целом. Однако, определить характеристику отдельных элементов таким способом не всегда удастся, так как для этого необходимо тщательно отсечь один водовод, что связано с большим объемом работ по закрытию и откры-

тию задвижек за ограниченное время. При этом должна быть гарантия полного закрытия задвижек. Поэтому характеристики отдельных водоводов определяют поочередно по участкам по методике, описанной в следующем разделе.

Выполненные в п.п. 1-6 замеры и обработка позволяют произвести **предварительный анализ** состояния насосного оборудования:

1. Напор и КПД насосов должны отличаться от паспортных не более, чем на $\pm 5-10\%$. Если напоры или КПД превышают паспортные значения больше, чем на 10% , то, скорее всего, при замерах были допущены ошибки.
2. Если характеристики каких-либо насосов проходят ниже паспортных значений более чем на 10% , то неисправен насос. Основные причины – износ рабочих колес, а также значительные зазоры в уплотнениях (из-за чего может сильно упасть КПД).
3. Проверяется соответствие номинальной мощности электродвигателей установленных насосов потребляемой максимальной мощности. Если паспортная мощность окажется значительно большей потребной, можно сделать вывод о целесообразности замены двигателя.
4. Если в основных режимах подачи воды рабочие точки находятся за пределами зон оптимальных КПД, то необходимо рассмотреть варианты изменения режимов работы насосов, замены насосов, способов регулирования и управления насосами. Окончательно эти вопросы решаются после выполнения полного анализа СПРВ.

3.1.3. Водоводы и сети

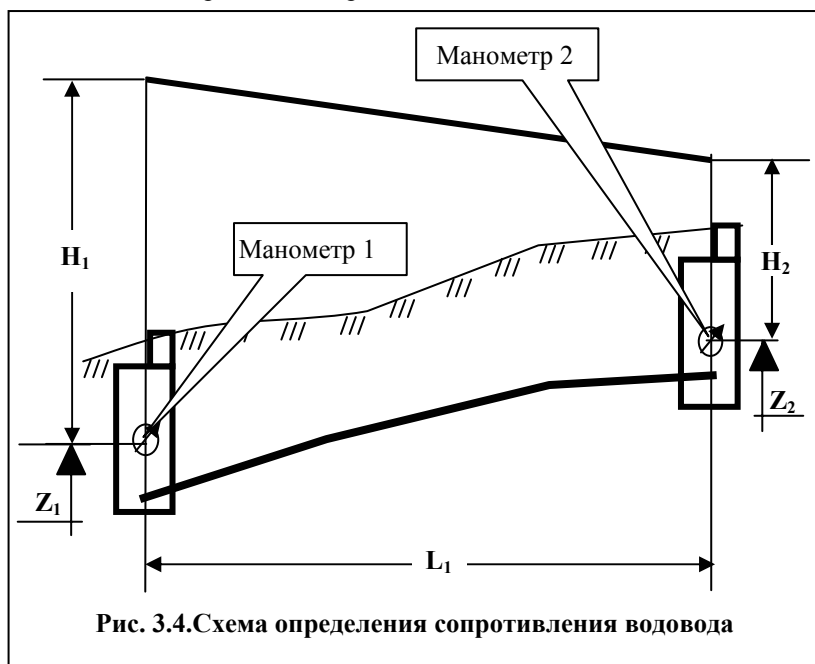
Основными этапами работ по обследованию трубопроводных систем подачи и распределения воды являются:

1. Сбор и систематизация информации о системах подачи и распределения воды –
 - 1) Планы местности с трассами водоводов, камерами переключений, колодцами с указанием основного оборудования, мест подключения попутных потребителей; на планах должны быть горизонтالي. Кроме того, должны быть собраны данные о трубах – год строительства участка, материал, диаметр, изоляция, состояние труб.
 - 2) Планы городской застройки с горизонтальями, с указанием насосных станций, башен резервуаров, трасс магистралей, колодцев, а также зданий. Нужна также информация о трубах, аналогичная водоводам.

Для систематизации этой информации перспективно использование программ, основанных на ГИС- технологиях (ГИС – геоинформационная система). Эти программы позволяют не только легко вносить и корректировать информацию обо всех трубах, арматуре и колодцах, но и использовать её для последующих расчетов водоводов и водопроводной сети.

2. Определение гидравлических характеристик водоводов и сетей. Работа по определению сопротивлений очень трудоемкая, поэтому обследование производят на отдельных участках при необходимости. Вопрос о выборе таких участков решают на последующих этапах обследования.

Схема испытаний для определения гидравлического сопротивления водовода приведена на рис.3.4.



На границах участков устанавливают манометры, измеряют одновременно расход в водоводе (с помощью расходомера на насосной станции) и показания манометров. Зная геодезические отметки установки осей манометров (необходима надежная геодезическая подоснова), получают пьезометрические отметки и потерю в водоводе (м):

$$h = (Z_1 + H_1) - (Z_2 + H_2).$$

Затем вычисляют сопротивление водовода ($S = h / q^2$), удельное сопротивление $A_m = S/L$, а при известном внутреннем диаметре трубы – коэффициент Дарси:

$$\lambda = \frac{2ghd^5 (\pi/4)^2}{Lq^2}$$

Следует отметить, что в найденные потери напора h и вычисленные по ним S , A_m и λ входят и местные сопротивления.

Определения производят несколько раз при разных значениях расходов воды. Наилучшие по точности результаты получают при наибольших расходах. При малых расходах на результаты сильно влияет погрешность определения отметок Z_1 и Z_2 .

Сопротивления водоводов можно определить при испытании насосного оборудования по методике, описанной в разд. 3.1.2.

Для определения гидравлических сопротивлений водопроводной сети необходимо отсечь этот участок от потребителей, либо производить замеры в ночное время, когда есть уверенность, что водопотребление попутных потребителей пренебрежимо мало по сравнению с транзитным расходом по изучаемому участку.

Используют два способа измерения расхода - с регистрируемым сбросом воды и «трех манометров».

При регистрируемом сбросе воды (рис 3.5) на исследуемом участке отключают попутных потребителей и за сбросом закрывают задвижку, т.е. прекращают транзитный расход. Расход воды регистрируют либо водомером, либо объемным способом с использованием водяной цистерны (при диаметре участка до 400 мм).

По показаниям манометров определяют пьезометрические отметки Π и затем потери напора на участке h_w :

$$\Pi = Z + M; h_w = \Pi_1 - \Pi_2.$$

Фактическое удельное сопротивление трубопровода находят по формуле

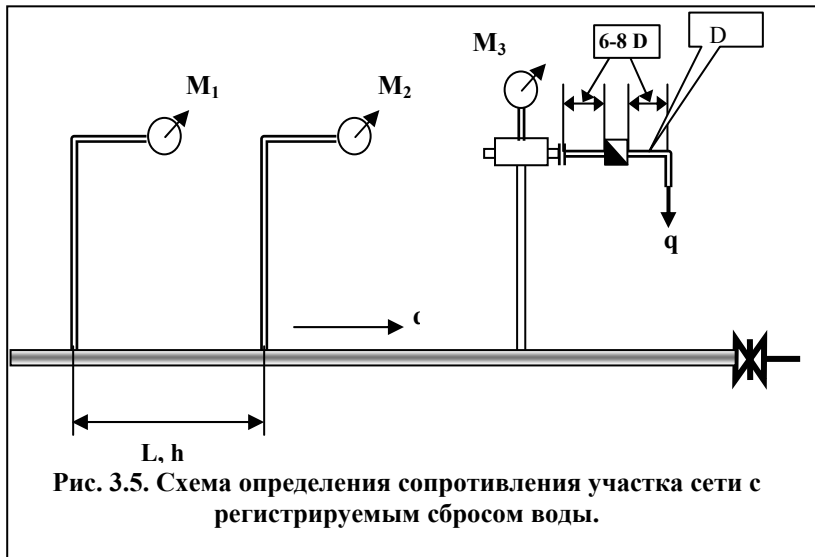
$$A_\phi = h_w / Lq^2.$$

После этого рассчитывают коэффициент увеличения сопротивления

$$K_c = A_\phi / A_m,$$

где A_m принимают по справочным данным (например, по табл. Ф.А.Шевелева [39]).

Способ трех манометров (рис. 3.6) используют в тех случаях, когда нельзя прекратить транзитный расход. Все потребители между манометрами 1 и 3 должны быть отключены. Производят два измерения – без сброса и со сбросом расхода в т.2. При этом фиксируют показания трех манометров, расходы, а затем вычисляют потери напора



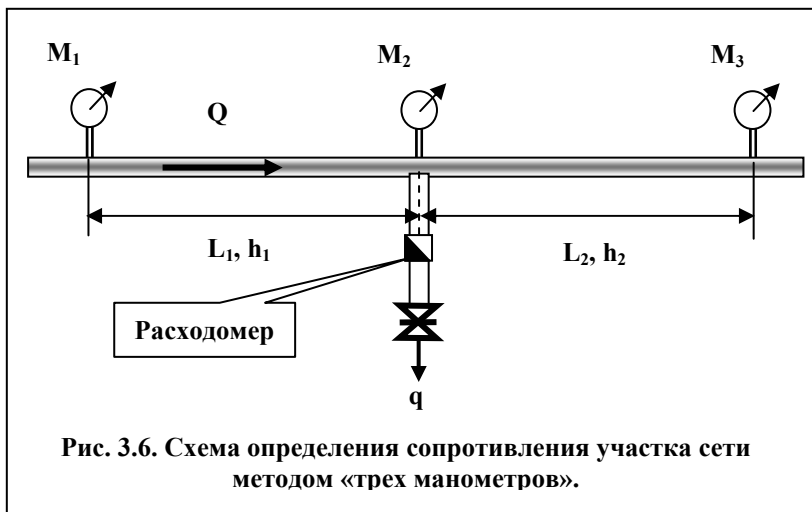
на обоих участках и фактическое сопротивление трубопроводов.

Если в измерениях без сброса гидравлический уклон одинаков на обоих участках, то фактическое сопротивление (по результатам измерений со сбросом в т. 2) находят по формуле:

$$A_{\phi} = \frac{1}{q^2} \left(\sqrt{\frac{h_1}{L_1}} - \sqrt{\frac{h_2}{L_2}} \right)^2,$$

где L_1 , L_2 , h_1 , h_2 – длины участков и потери напора при замеренном расходе q . При разных гидравлических уклонах измеряют потери без сброса воды h и со сбросом h^* , затем вычисляют удельные сопротивления:

$$A_1 = \frac{(\sqrt{h_1 h_2^*} - \sqrt{h_1^* h_2})^2}{q^2 L_1 h_2^*} \quad A_2 = \frac{(\sqrt{h_1 h_2^*} - \sqrt{h_1^* h_2})^2}{q^2 L_2 h_1^*}.$$



Следует иметь в виду, что в приведенных формулах для удельных сопротивлений участков могут вычитаться близкие величины, что резко повышает погрешность расчетов. Поэтому длины участков и расходы должны быть как можно большими.

Полученные результаты необходимо сравнить со справочными данными (например, табл. [39]). Если удельное сопротивление окажется заметно меньше расчетного (на 20-30%), то в замерах сделаны ошибки. Если сопротивление намного больше расчетного, то возможными причинами могут быть:

- 1) ошибки в замерах или вычислениях,
- 2) сильное обрастание или отложения в трубопроводах,
- 3) скопления воздуха в повышенных точках участков,
- 4) какая-то задвижка прикрыта или неисправна.

3.1.4. Манометрическая съемка водопроводной сети

Манометрическая съемка - измерение напоров на водопроводной сети. Целью съемки является определение пьезометрических напоров в узлах и потерь напора на участках. Достоверные результаты

можно получить при одновременной съемке в большом числе точек и при примерно постоянном расходе. Часто это практически невозможно сделать.

Съемку ведут по зонам сети. На схеме сети тщательно разрабатывают маршрут, намечают характерные точки (минимум 3-10): высокие и низкие отметки земли, места подключения крупных потребителей, основные пересечения магистралей (не менее 70% точек пересечения), подключение водопитателей, резервуаров и т.п. В характерных точках желательно поставить манометры – самописцы, либо датчики с модемами, передающими показания в диспетчерский пункт. Съемку производят для всех характерных режимов работы, как минимум должны быть выполнены замеры в периоды максимального и минимального водопотребления, желательно летом.

Для таких работ должны быть задействованы несколько бригад (по 3 человека). Рекомендуемое время замеров - ночью с 1 до 5 ч и днем с 11 до 15 ч. По опыту сеть в эти часы работает стабильно. В случае изменения режима работы насосной станции или аварии съемку прекращают и повторяют в другие сутки в то же время.

Измерения выполняют манометрами класса точности 0,4 - 0,6, подключаемыми к сети с помощью штуцера через трехходовой кран, либо с помощью стэндера, подсоединяемого к гидранту. До начала съемки намечают маршрут (рис. 3.7), монтируют штуцера для подключения манометров и определяют геодезические отметки их осей.

На основании полученных данных строят карту изолиний (рав-

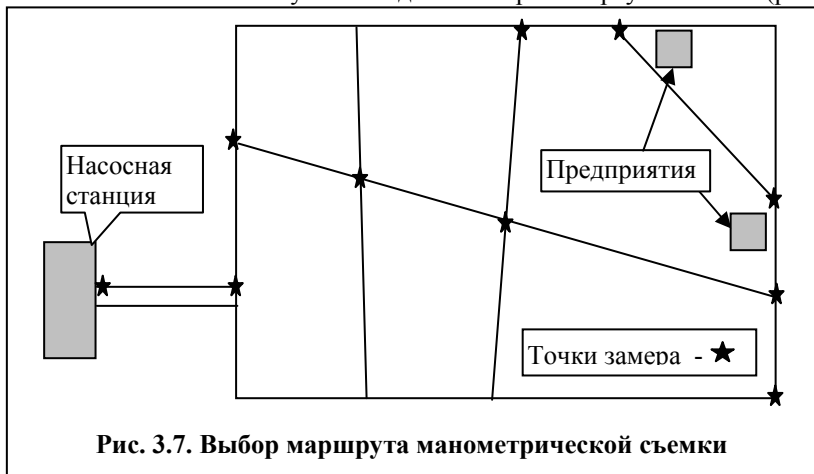


Рис. 3.7. Выбор маршрута манометрической съемки

ных напоров) и пьезометрические линии.

Манометрическая съемка позволяет произвести предварительный анализ работы СПРВ и установить:

1. Зоны с недостаточными или избыточными свободными напорами.
2. Перегруженные и недогруженные участки сети (участки со слишком большими или малыми потерями напора).
3. Наметить «узкие» места сети.
4. Сделать предварительное заключение о необходимости строительства станций регулирования или зонирования сети.

В результате такого анализа можно попытаться устранить наиболее простые дефекты, например, обнаружить прикрытые или неисправные задвижки. Иногда удастся выявить несанкционированные подключения к сети.

Намеченные меры по интенсификации сети (например, укладка дополнительных линий) должны быть проверены расчетами с использованием ЭВМ (см. разд. 3.1.5).

3.1.5. Изучение совместной работы элементов СПРВ

Как уже отмечалось, основные элементы системы подачи и распределения воды (насосные станции, башни, резервуары, водоводы и сети) работают совместно. На основании изучения каких-либо отдельных составных частей нельзя получить надежные рекомендации по интенсификации и реконструкции СПРВ. Сложность задачи обусловлена постоянно изменяющимся во времени водопотреблением, большим числом компонентов, входящих в СПРВ, неполнотой и неточностью информации об элементах системы. В связи с этим для анализа целесообразно использовать математические модели СПРВ.

Учитывая сложность и недостаточность информации о системе, для анализа используется, так называемая, «эквивалентная» модель. По своим основным параметрам (сопротивлениям участков, характеристикам насосов, расчетным расходам) она с достаточной точностью соответствует фактическим характеристикам работы действующей системы ПРВ. Использование таких моделей позволяет рассмотреть разные варианты интенсификации СПРВ и оценить их эффективность с технико-экономических позиций.

Построение модели производят в следующем порядке [42,43,44,45]:

1. Составляют расчетные схемы СПРВ, на которых должна быть информация обо всех узлах сети, участках, водопитателях (насосные

станции, башни, резервуары). При этом используют данные, полученные в разд. 3.1.1- 3.1.4.

2. Определяют фактические узловые расходы. Для этого на планах сетей «привязывают» потребителей воды к определенным узлам. Затем по данным водосбытов определяют среднечасовые расходы в узлах. Подсчитанные узловые расходы абонентов отражают некоторый усредненный уровень водопотребления в городе, который практически во всех случаях отличается от фактического водопотребления в расчетный период. Поэтому вводят коэффициенты неравномерности, определяемые формулой

$$K_{\text{макс (мин)}} = Q_{\text{нс}} / \sum_1^n q_{\text{узн } i},$$

где $Q_{\text{нс}}$ - подача в сеть в расчетный период (по расходомерам насосной станции).

Следует отметить, что введение единых коэффициентов часовой неравномерности подачи при определении расчетных узловых расходов создает определенную погрешность, поскольку в пределах данной группы абонентов имеются различия в режимах водопотребления (речь идет о жилых зданиях и коммунально-бытовых предприятиях). Однако, поскольку доля потребления воды каждым отдельным абонентом в общем водопотреблении города незначительна, эту погрешность можно считать допустимой [46].

Максимальные и минимальные часовые расходы определяют по результатам обследования водопотребителей (см. [разд. 3.1.1](#)), а также режимов работы насосных станций ([разд. 3.1.2](#)).

3. Вводят коррективы в сопротивления участков. Для этого используют результаты, полученные при определении гидравлического сопротивления участков ([разд. 3.1.3](#)) и манометрической съемке сети ([разд.3.1.4](#)). Для тех участков, сопротивление которых не определялось (это большая часть участков), вводят коэффициенты увеличения сопротивления, полученные на основе экспериментов, либо значения эквивалентной шероховатости, также полученные в ходе обследования сети.

4. Следующим этапом является гидравлические расчеты СПРВ. Учитывая трудоемкость таких расчетов, их производят сейчас с помощью ПЭВМ. Существует большое число программ гидравлического расчета (AQUANET, WaterCAD, EPANET, и др.). Последняя из этих программ, создана отделом водоснабжения и водных ресурсов лаборатории методов уменьшения угрозы окружающей среде США.

EPANET– это компьютерная программа, которая производит расширенное моделирование гидравлики и качества воды в напорных трубопроводных сетях. Сеть может состоять из труб, узлов, насосов, задвижек и накопительных резервуаров или водоемов. EPANET определяет расход воды в каждой трубе, давления в каждом узле, уровень воды в каждом резервуаре и концентрацию примесей по всей сети за время моделирования с многочасовыми периодами. Можно также моделировать время пребывания воды в системе.

EPANET обеспечивает интегрированную среду для редактирования входных данных сети, выполнение гидравлического моделирования, моделирования качества воды и рассмотрения результатов в разных формах. Среди них – цветные карты сети, таблицы данных, графики часовых рядов и контурные схемы. EPANET дает следующие возможности:

- не устанавливает лимит размеров анализируемой сети;
- рассчитывает потери напора с использованием уравнений Хазена-Вильямса, Дарси-Вейсбаха или Шези-Маннинга;
- учитывает местные сопротивления (колена, фитинги и т.п.);
- моделирует насосы без регулирования или с регулируемой скоростью вращения;
- рассчитывает количество электроэнергии, которая тратится на перекачку воды, и её стоимость;
- моделирует разные типы задвижек (запорные задвижки, обратные клапаны, регуляторы давления, и т.п.);
- моделирует резервуары любого размера и формы (например, диаметр может изменяться с высотой);
- рассматривает узловые отборы с их собственными распределениями расходов во времени;
- может моделировать работу системы, базируясь как на простом уровне воды в резервуаре, так и на способах управления, задаваемых в исходных данных.

Гидравлический расчет СПРВ выполняют на режим максимального часового расхода, а также на режимы, при которых выполнялась манометрическая съемка сети. Затем сопоставляют результаты расчетов с данными натурных замеров, после чего в эквивалентную модель вносят коррективы. Описанные операции производятся многократно - до тех пор, пока отклонения значений вычисленных и фактических напоров в сети не будут превышать заданную величину (обычно $\pm 1\text{ м}$).

5. Следующий этап – расчет СПРВ на необходимые после реконструкции значения расходов системы, которые были определены в разд.3.1.1. Анализ результатов расчетов позволяет существенно уточнить предварительные результаты, полученные при анализе манометрической съемки сети (см. предыдущий разд.). Дело в том, что использование эквивалентной модели сети дает значительно более полную и точную информацию, чем манометрическая съемка. Здесь, кроме уточненных данных о зонах с недостаточными или избыточными свободными напорами, перегруженных или недогруженных участках сети (участки со слишком большими или малыми потерями напора), получают информацию о необходимых параметрах работы насосных станций для разных режимов водопотребления.

Завершающим этапом анализа работы СПРВ является перечень возможных и наиболее перспективных способов реконструкции и интенсификации системы, каждый из которых «проигрывается» с помощью эквивалентной модели СПРВ.

В последующих разделах рассмотрены способы реконструкции и интенсификации безбашенных и башенных систем подачи воды. При этом рассматриваются две задачи - увеличение количества подаваемой воды и снижение затрат электроэнергии.

Контрольные вопросы

1. Как определить фактическое водопотребление населения, промпредприятий?
2. Способы снижения расходов воды населением, промышленностью, на поливку.
3. Причины и пути снижения утечек из внутренней и внешней сети.
4. Методика получения характеристик насоса.
5. Каковы возможные причины существенных отклонений фактической характеристики насоса от заводской?
6. Как определить фактическое сопротивление водовода?
7. Что такое манометрическая съемка?
8. Как наметить контрольные точки на сети, как выбрать маршрут съемки?
9. В какое время суток следует производить манометрическую съемку?
10. В чем состоит обработка результатов манометрической съемки?

11. Что такое карта изолиний?

3.2. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОДАЧИ ВОДЫ

3.2.1. Безбашенные системы.

Предположим, система состоит из следующих элементов: насосная станция второго подъема (НС-II), водоводы, насосная станция третьего подъема (НС-III) с резервуарами чистой воды (РЧВ), сеть.

Вся схема подачи воды в город разбивается на блоки, границей раздела которых являются резервуары (рис.3.8).

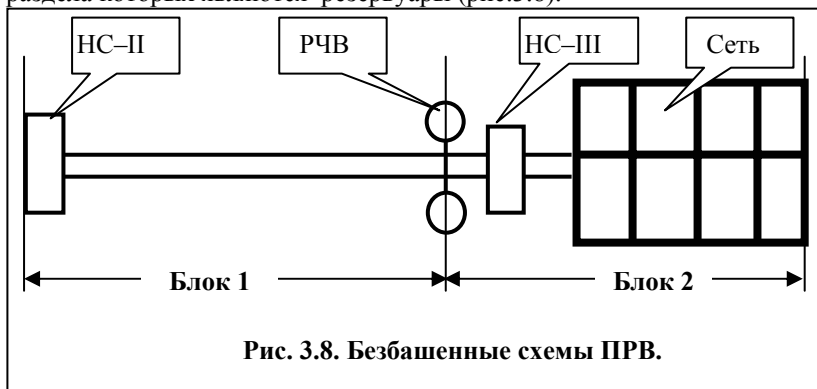


Рис. 3.8. Безбашенные схемы ПРВ.

В пределах каждого блока сооружения работают в собственном режиме: в блоке 1 они рассчитываются на среднечасовой расход, а в блоке 2 они работают в режиме водопотребления города.

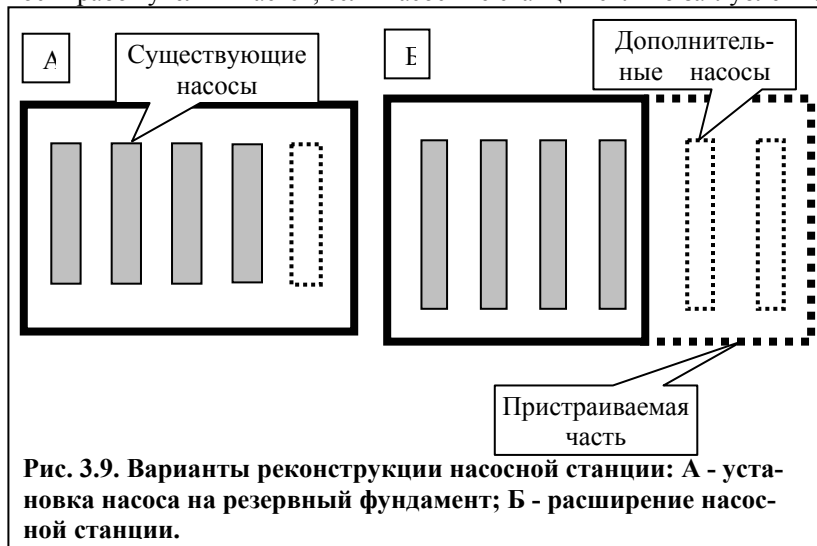
Производится анализ возможных способов увеличения производительности до расчетного значения по каждому блоку.

Блок 1: НС-II – водоводы - РЧВ

Для этого блока возможны следующие способы увеличения расхода до необходимого значения:

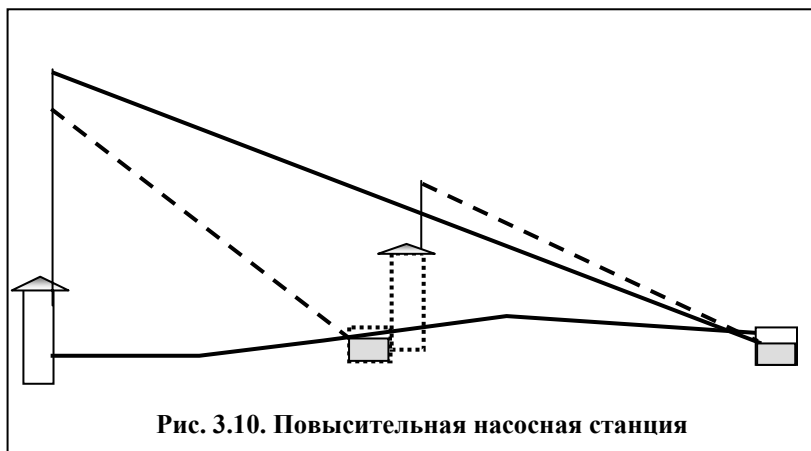
1. Замена рабочих колес насосов или типов насосов на НС-II. В первую очередь рассматриваются варианты замены (увеличения) рабочих колес насосов – в этом случае насосная станция нуждается в минимальной реконструкции. Нужно иметь в виду, что в этом случае, возможно, понадобится замена электродвигателей, так как при увеличении диаметра колеса растет рабочая мощность насоса.
2. Расширение насосной станции и установка дополнительных агрегатов (рис.3.9). Этот вариант дороже первого в том случае, если в насосной станции не предусмотрен резервный фундамент для насоса – тогда

можно обойтись без расширения машинного зала. В проекте следует учитывать, что недопустим длительный перерыв в подаче воды. Сложность работ увеличивается, если насосные станции сильно заглублены.



Если варианты 1 и 2 по каким-либо причинам неприемлемы, иногда строят дополнительную насосную станцию рядом с существующей. В случае если напор насосов или давление в водоводах оказывается больше допустимого при пропуске увеличенного расхода, рассматривают вариант строительства промежуточной насосной станции (рис.3.10).

Сплошная пьезометрическая линия на этом рисунке соответствует пропуску «нового» расчетного расхода по существующим линиям, а пунктиром показана повысительная насосная станция и соответствующие пьезометры. В этом случае можно обойтись без дополнительных водоводов, однако, замена насосов на НС-II, как правило, потребуется, поскольку необходимый напор снижается. Преимуществом этого варианта является более простое обеспечение непрерывной подачи воды в город. Однако этот вариант дороже первых двух.



Варианты, приведенные ниже, связаны с реконструкцией только водоводов при неизменной насосной станции. Если в результате обследования окажется, что пропускная способность водоводов недостаточна, то, в первую очередь следует рассмотреть варианты:

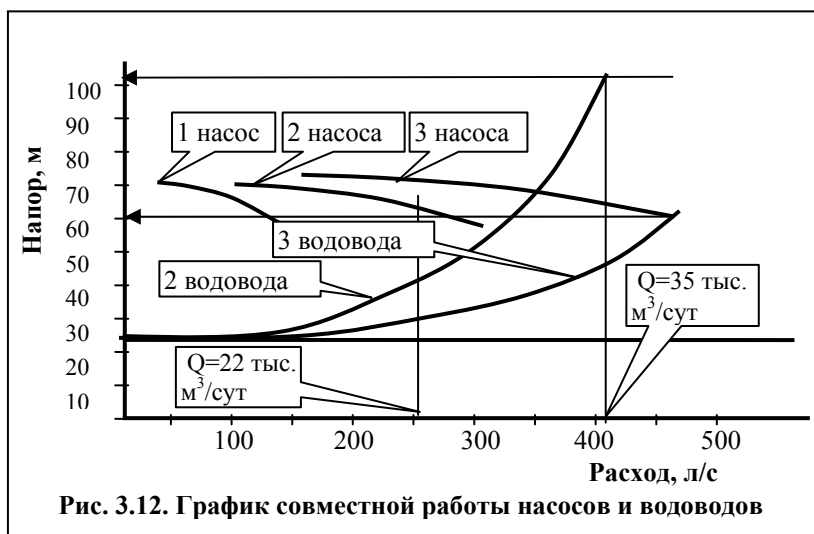
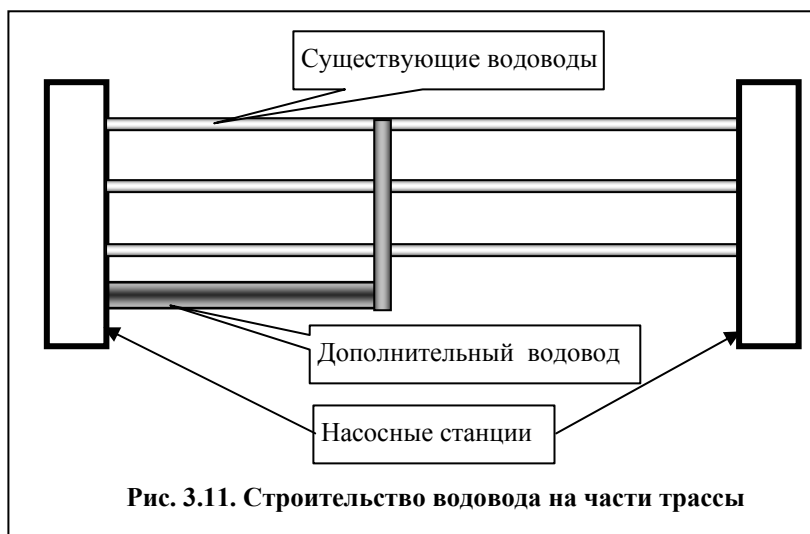
1. Санация и реновация водоводов.
2. Очистка поверхности водоводов и внутреннее цементно-песчаное (или другое) покрытие,
3. Нарращивание пленки карбонатов на металлических трубах путем соответствующей обработки воды.

Если эти варианты не позволяют достичь необходимой производительности, то рассматривается возможность прокладки дополнительного водовода на всю длину или на часть длины трассы (рис. 3.11).

Следующий вариант – это одновременная реконструкция насосной станции и прокладка водоводов. Часть вариантов может быть отброшена при предварительном анализе.

В качестве примера ниже рассмотрена задача увеличения подачи воды для системы НС-II – водоводы – РЧВ с 22 тыс. м³/сут до 35 тыс. м³/сут. Вода подается двумя рабочими насосами марки Д-500-65 по двум асбестоцементным водоводам марки ВТ-9 диаметром 400мм (рис. 3.12).

Существующие два водовода не смогут пропустить расход 35 тыс. м³/сут (405 л/с), поскольку потребный напор в начале системы водоводов будет превышать 90м (предельный напор для труб марки ВТ-9). Поэтому придется построить дополнительный водовод.



Однако существующие два насоса нужную производительность не обеспечат, следовательно, необходимо установить дополнительный третий агрегат той же марки. Таким образом, для решения поставлен-

ной задачи придется произвести реконструкцию и насосной станции и водоводов.

Блок 2: система НС-III - сеть

Здесь, помимо основных способов, применяемых для блока 1, используется ряд специфических. В первую очередь составляется расчетная схема сети с учетом результатов манометрической съемки и учетом узловых расходов по данным абонентного отдела Водоканалов (это среднечасовые расходы - разд.3.1.1). Данные о подаче воды в сеть на период обследования берут по приборам НС - III.

Составив расчетную схему сети, производят ее поверочный расчет, используя эквивалентную модель сети, и корректируя ее при необходимости (методика описана в разд. 3.1.5).

Анализируя результаты расчета, и сопоставив их с результатами съемки на сети, выделяют:

- 1) перегруженные линии, на которых скорости движения воды выше предельных экономических значений;
- 2) недоиспользуемые линии с малыми расходами и потерями напора;
- 3) линии с экономичными скоростями движения воды;
- 4) линии с малыми расходами, но значительными потерями напора (возможные причины - неисправность арматуры, засоры, некачественная врезка и т.п.).

Составляется новая расчетная схема и производится расчет сети на новый расчетный расход, и выявляются "узкие" места - участки, в которых потери напора максимальные. Рассматриваются варианты "расшивки" этих участков: прокладка параллельных линий, замена участков на больший диаметр (если нет места для второй линии) - потребные напоры в начале сети в результате уменьшаются. Возможно, что в этом случае существующие насосы смогут обеспечить необходимую производительность.

Зонирование районов с повышенными отметками или этажностью, позволяет снизить напоры в начале сети (например, с помощью местных (микрорайонных) насосных станций). Как известно, необходимость зонирования возникает при больших перепадах отметок земли либо при большой протяженности. Ориентировочное число зон –

$$n \geq \frac{Z_{\text{макс}} - Z_{\text{мин}} + H_{\text{св}} + \sum h_c}{H_{\text{доп}}},$$

где $Z_{\text{макс}}$, $Z_{\text{мин}}$ – максимальная и минимальная отметки земли;
 $H_{\text{доп}}=60$ м – максимально допустимый свободный напор в сети;

$H_{св}$ - минимальный потребный свободный напор в сети;

Σh_c - суммарные потери напора в сети.

Если потери в сети примерно равны 10-15 м, то зоны необходимы при перепадах отметок в 32 м для 3-этажной застройки, 24 м - для 5-этажной и 8 м для 9-этажной (целесообразность зонирования при многоэтажной застройке при плоском рельефе объясняется экономией электроэнергии).

Длину зоны можно оценить по формуле -

$$L = \frac{H_{доп} - H_{св} - (Z_{макс} - Z_{мин})}{i_{ср}},$$

где $i_{ср}$ - средний гидравлический уклон в сети (ориентировочно 2-4 м/км).

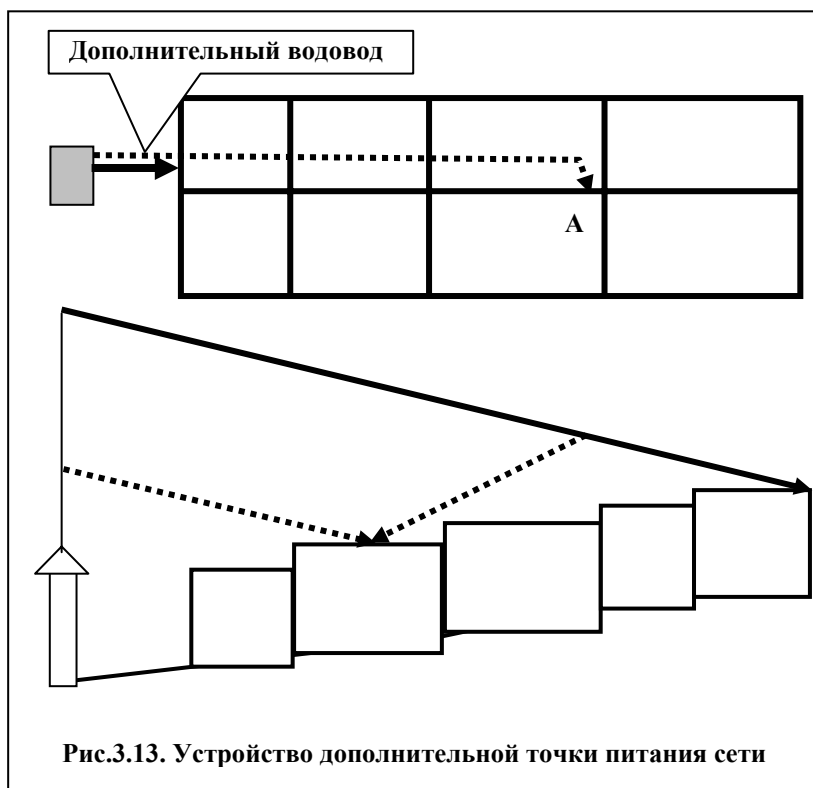
НИИ КВОВ (г. Москва) разработаны рекомендации по оптимальному зонированию сети с учетом рельефа местности, норм водопотребления, плотности населения, расстояния между узлами и тарифа на электроэнергию. В ряде случаев зонирование сети позволяет достигнуть экономии электроэнергии.

Изменение точек питания сети также позволяет увеличить пропускную способность сети и снизить затраты электроэнергии. Расположение точек питания сети в системе ПРВ должно быть таким, чтобы пьезометрические напоры в сети согласовывались с рельефом местности и этажностью застройки. При этом уменьшаются избыточные напоры. При устройстве второй точки питания (т. А на рис.3.13) давление в сети снижается - пьезометрическая линия (пунктир) проходит ниже, чем при одной точке питания (сплошная линия). Сеть как бы разбивается на две зоны. Первая питается с двух сторон, как в схеме с контррезервуаром. Увеличение подачи здесь достигается за счет снижения потребного напора НС. Однако, необходима проверка работы насосов, может потребоваться их замена.

Аналогичный эффект достигается при переносе второй точки питания в конец сети. К преимуществам описанного способа реконструкции СПРВ относятся:

- снижение напоров в сети и, следовательно, уменьшение утечек и частоты аварий;
- уменьшение расхода энергии из-за снижения напора насосов.

Однако потребуются капиталовложения на строительство дополнительных водоводов, поэтому вопрос о целесообразности варианта должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.



3.2.2. Башенные системы.

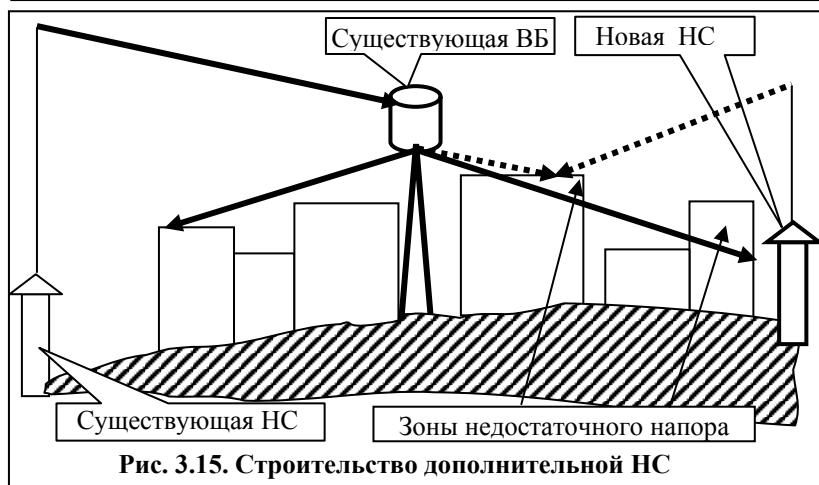
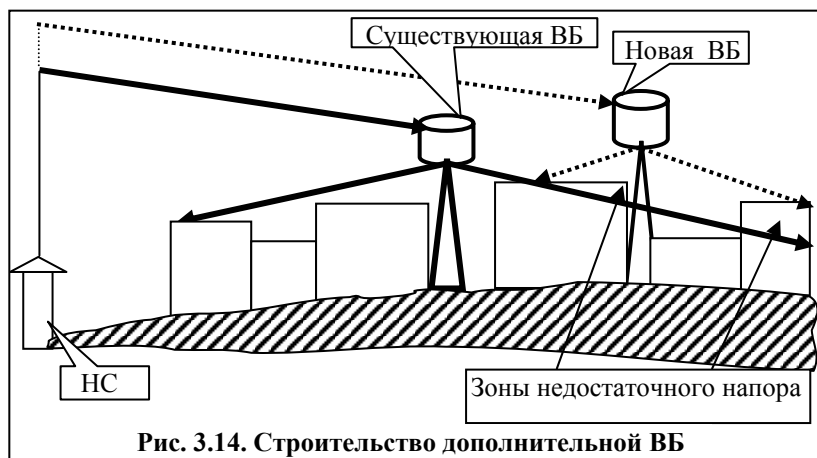
Башенные СПРВ - это схемы с водонапорными башнями (ВБ) и с контррезервуарами (КР). При реконструкции этих систем возможны все рассмотренные ранее варианты.

Однако, в этих схемах “узким” местом обычно являются объемы баков и ограниченный пьезометрический напор в точке подключения башни (т.е. высота ВБ или отметка КР).

В башенных системах возможны следующие варианты интенсификации: изменение числа точек питания, числа питающих НС, числа ВБ, расширение НС, зонирование, строительство КР, перекладка или дополнительная прокладка участков сети и т.п.

Рассмотрим некоторые примеры.

На рис.3.14 и 3.15 представлена схема с ВБ в середине сети. Если в какой-либо зоне напор становится недостаточным, то развитие возможно путем строительства дополнительной башни (рис. 3.14) либо насосной станции (рис. 3.15). На этих и последующих рисунках сплошные линии соответствуют ситуации до реконструкции, а пунктирные – после неё.

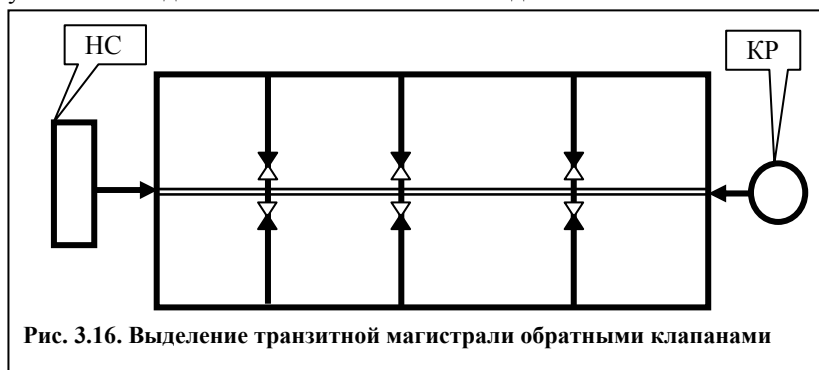


В тех случаях, когда при реконструкции высота ВБ достаточна, но мал объем бака, может оказаться целесообразным строительство РЧВ и НС возле ВБ. Последняя при этом будет работать как башня – регулятор напора. В этом случае насосы автоматизируются в зависимости от уровня воды в баке – при наполнении бака насос отключается, а при опорожнении до заданного уровня – включается. Такая схема позволяет установить минимальное число насосов максимальной производительности, что сокращает стоимость насосной станции.

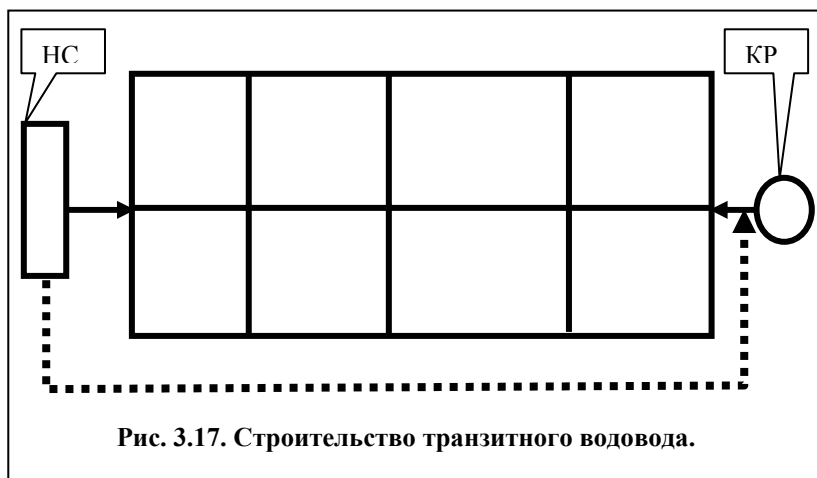
Схемы с контррезервуарами (КР) рациональны при протяженности сети не более 10-20 км. При большей протяженности они становятся экономически нецелесообразными из-за больших напоров в сети при наполнении КР.

Строительство ВБ, работающей как КР, может позволить увеличить пропускную подачу системы за счет уменьшения зоны питания НС. Однако при этом следует проверить работу насосов на случай транзита воды в бак.

Возможные пути реконструкции схемы с КР показаны на рис. 3.16 и 3.17. На рис. 3.16 предполагается отключение транзитной магистрали от попутных потребителей в часы заполнения КР, обратные клапаны закрываются при повышении давления в магистрали. Тогда уменьшается давление НС и повышается подача насосов.

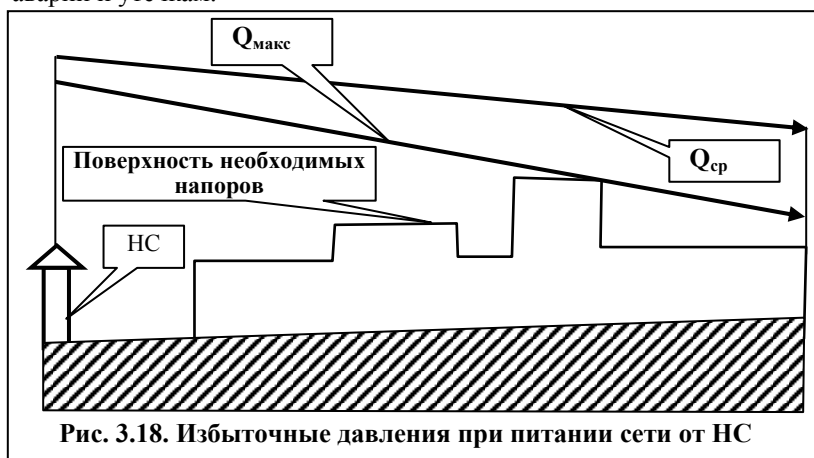


В сетях большой протяженности (>20 км) может оказаться целесообразным строительство транзитного водовода (рис. 3.17) вокруг сети для питания КР. Экономия энергии достигается за счет снижения потерь напора, кроме того, улучшается работа сети, поскольку уменьшаются избыточные давления.



3.2.3. Системы с узлами регулирования.

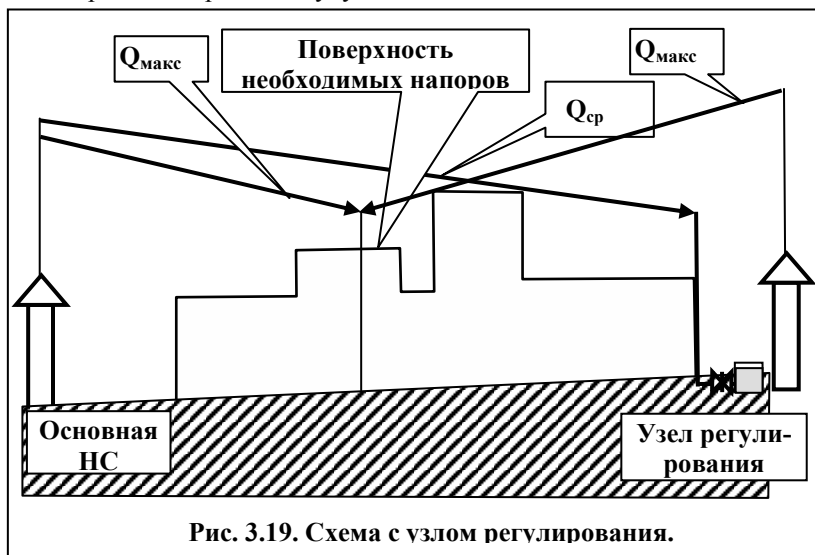
Известно, что в обычной безбашенной схеме в сети имеются избыточные давления, возрастающие при снижении подачи воды (рис. 3.18). Это приводит к перерасходу электроэнергии, увеличению числа аварий и утечкам.



Одним из способов реконструкции СПРВ, при котором снижаются избыточные напоры и повышается пропускная способность сети, является использование схем с узлами регулирования. Узел регулиро-

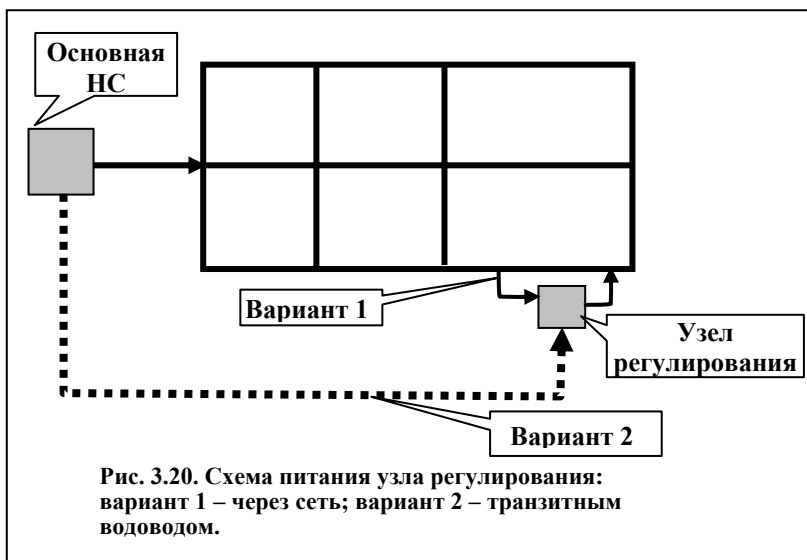
вания – это комплекс сооружений, состоящий из резервуаров и насосной станции, которая работает только в периоды максимального водоразбора.

Основная НС проектируется на среднечасовое потребление (рис. 3.19). При максимальном потреблении включается НС регулирования и сеть питается с двух сторон – из основной НС и узла регулирования. Насосная станция узла регулирования работает периодически, основная НС работает в равномерном режиме. При этом уменьшается расход электроэнергии. К недостаткам этой схемы следует отнести появление новой площадки, резервуаров и насосной станции, а также дополнительного обслуживающего персонала. Работу узла регулирования целесообразно автоматизировать – в этом случае расходы на содержание персонала будут минимальными.



При гидравлическом расчете определяют места размещения узлов регулирования, подачу насосных станций (основной и узла регулирования), место и объем РЧВ, схему их питания (рис.3.20).

Место расположения НС регулирования и питание ее резервуаров зависят от расхода, протяженности сети, режима водопотребления, рельефа местности и определяются гидравлическим расчетом. Процесс регулирования сводится к выбору такого напора, при котором пьезометр в диктующей точке равен требуемому.



При гидравлическом расчете водопроводной сети осуществляют не только внутреннюю увязку сети, но и внешнюю, что позволяет выявить условия взаимодействия сети, основной НС, регулирующих РЧВ и НС узла регулирования.

При подключении узла регулирования перед резервуарами часто приходится устанавливать прикрытую задвижку (см. задвижку на рис. 3.19) или регулятор давления, чтобы напор в сети в зоне, примыкающей к РЧВ, не был слишком малым.

Как правило, решение задачи интенсификации в каждом блоке, может быть достигнуто несколькими способами. Для выбора оптимального решения необходимо проводить сравнение вариантов по приведенным затратам. Кроме того, учитываются:

- 1) возможность и трудоемкость реализации того или иного варианта при производстве работ в условиях непрерывно действующих остальных сооружений;
- 2) расход электроэнергии;
- 3) избыточные напоры в сети.

Контрольные вопросы

1. Перечислите возможные пути интенсификации системы «НС–водоводы–РЧВ».

2. Покажите на продольном профиле водоводов, как выбрать место строительства дополнительной насосной станции.
3. Потребуется ли дополнительная регулирующая емкость при замене малых насосов на насосы большей производительности, работающие периодически?
4. Составление расчетной схемы сети по данным манометрической съемки.
5. Как по результатам манометрической съемки определить перегруженные участки, участки с малыми расходами, места расположения неисправной арматуры?
6. В каких случаях при интенсификации целесообразно зонирование сети? Возможные схемы зонирования.
7. Как определить границ зон?
8. Приведите схему сети с пьезометрическими линиями для случаев питания из одной точки и из двух.
9. Почему при строительстве контррезервуаров может быть увеличена пропускная способность сети?
10. Как влияет установка резервуаров у крупных потребителей на работу водопроводной сети?
11. Проиллюстрируйте на схемах с пьезометрическими линиями, за счет чего достигается увеличение пропускной способности сети:
 - при изменении точки питания схемы НС-ВБ-сеть;
 - при строительстве дополнительной НС;
 - при строительстве дополнительной ВБ;
 - при строительстве НС у ВБ.
12. Что такое узел регулирования? Режим его работы.
13. В каких случаях целесообразно строительство узлов регулирования?
14. Как определить место строительства узла регулирования?
15. Как обеспечить минимальный потребный напор в сети в зоне РЧВ узла регулирования при питании последнего через сеть?
16. В каком случае величина избыточных давлений в сети будет больше – в схеме НС-сеть или в схеме с узлами регулирования?

3.3. СПОСОБЫ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ В СПРВ

Затраты энергии в СПРВ определяются потреблением электроэнергии в насосных станциях, которое зависит не только от насосов,

но и от системы подачи воды. При уменьшении сопротивления водоводов и сетей снижается необходимый напор насосов и количество потребляемой энергии.

Основные пути сокращения потерь энергии в насосных станциях следующие:

1. Обточка (обрезка) рабочих колес насосов.
2. Замена насосов на более совершенные конструкции – с более высокими КПД либо с более подходящими рабочими характеристиками.
3. Использование более широкого набора насосов, позволяющего работать в зоне высоких КПД при любых режимах водопотребления.
4. Регулирование работы насосов.
5. Рациональное управление работой насосов.

Обрезка рабочего колеса насоса целесообразна в тех случаях, когда большую часть времени насос создает избыточный напор. Необходимый диаметр колеса рассчитывают по формуле -

$$D_1 = D_{ном} \sqrt{\frac{H_1}{H_{ном}}},$$

где D_1 и $D_{ном}$ – необходимый и паспортный (номинальный) диаметры рабочего колеса; H_1 и $H_{ном}$ – соответствующие напоры насосов.

Допустимая обрезка колес (см. табл. 3.2) ограничивается в зависимости от коэффициента быстроходности насоса -

$$n_s = 3.65 \frac{n \sqrt{q}}{H^{0.75}},$$

где n – число оборотов, об/мин; q – подача, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напор, м.

Таблица 3.2. Допустимая степень обрезки рабочих колес

Диапазон n_s	Степень обрезки колеса, %
60 - 120	20-15
120-200	15-11
200-300	11-7

Коэффициент полезного действия насоса при обрезке колеса уменьшается в соответствии с формулой Муди [47]:

$$\eta_{cp} = 1 - (1 - \eta) \left(\frac{D}{D_{cp}} \right)^{0,25},$$

где η_{cp} и η – КПД насоса при обрезанном (D_{cp}) и номинальном (D) диаметрах колес. Однако это уменьшение очень невелико - примерно 1% на каждые 10 % срезки колеса при $n_s=60-200$ и 1% на каждые 4 % при $n_s=200-300$.

Если на насосной станции установлено несколько однотипных насосов, то обрезку следует проводить не на всех насосах, а на 1 – 2 [42]. Это позволяет регулировать напор насосов, варьируя состав работающих насосов.

Замена насосов обычно требует значительных капиталовложений, поэтому здесь требуется технико-экономическое обоснование. В [42] рекомендуется производить замену насосов в тех случаях, когда стоимость потерь электроэнергии за 3 года выше разницы стоимости нового и установленного оборудования.

3.3.1. Методы регулирования работы насосов

Насосы являются основными потребителями электрической энергии в предприятиях водопроводно- канализационного хозяйства. Так, по данным 1997 г. затраты на оплату электрической энергии в Одесском Водоканале составляли примерно 57 % эксплуатационных расходов по водоснабжению.

Одним из способов снижения энергозатрат является регулирование работы насосов. Необходимость регулирования возникает в тех случаях, когда напор, создаваемый насосом, больше напора, нужного потребителю. Рассмотрим работу насоса на водопроводную сеть (рис.3.21).

Предположим, насос подобран на режим максимального водопотребления. При этом подбор идеален – точка пересечения характеристик насоса и сети точно соответствует потребным параметрам ($q=q_{max}$, $H=H_{max}$)⁸.

Рассмотрим работу системы «насос – сеть» при расходе $q_1 < q_{max}$. Снижение подачи произойдет за счет увеличения сопротивления сети (потребитель прикроет часть кранов), характеристика сети станет более крутой (пунктир на рис. 3.21). Напор насоса при этом станет равным H_1 . Однако, как видно из рисунка 3.21, сеть может пропустить нужный расход при напоре H_{11} .

⁸ По сложившимся в практике проектирования традициям, подбор насосов всегда производится с некоторым запасом, т.е. создаваемый напор больше необходимого – $H > H_{max}$.

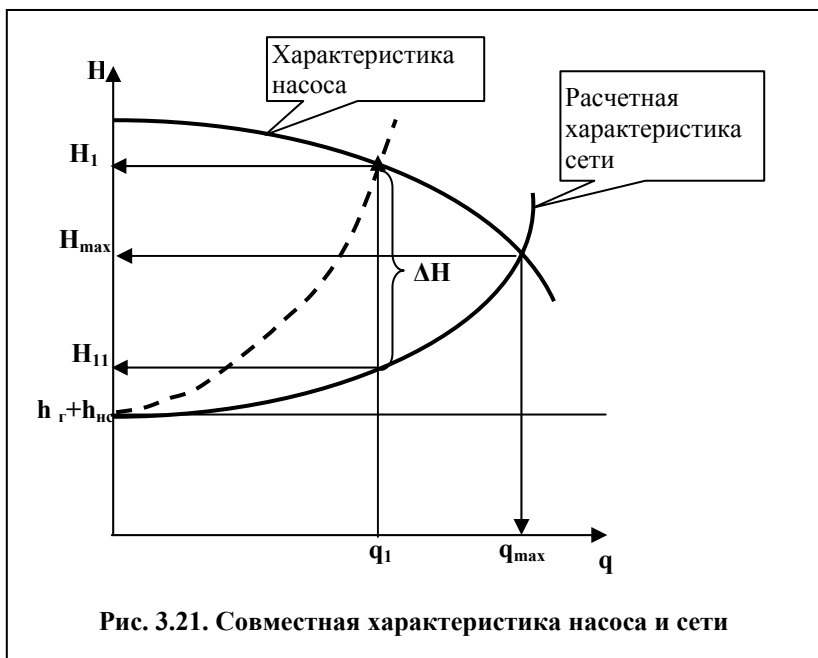


Рис. 3.21. Совместная характеристика насоса и сети

Таким образом, насос будет создавать избыточный напор

$$\Delta H = H_1 - H_{II},$$

а избыточная потребляемая мощность –

$$\Delta N = q_1 \Delta H / 102 \eta_a,$$

где η_a – коэффициент полезного действия агрегата (насос и электродвигатель), равный произведению КПД насоса и двигателя

$$\eta_a = \eta_n \eta_d.$$

Одновременно, в этом случае на величину ΔH возрастает напор в сети, что приводит к увеличению расхода (это и утечки и нерациональное использование воды потребителем). Отсюда следует целесообразность регулирования насосов.

Ниже рассмотрены некоторые способы регулирования работы насосов.

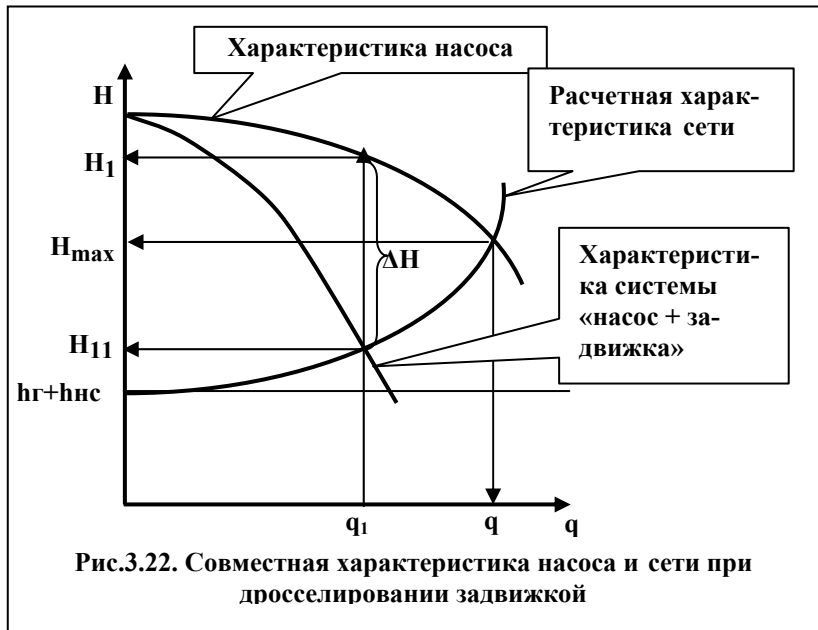
Дросселирование напорной задвижкой

Здесь подачу насоса снижают, прикрывая задвижку на напорном патрубке, увеличивая потери напора в ней на величину ΔH . В принципе подача насоса может быть уменьшена, если прикрывать задвижку на всасывающем патрубке, однако при этом возрастает опасность ка-

витации. Поэтому этот способ регулирования запрещен правилами технической эксплуатации [48].

Характеристика системы «насос + задвижка» построена путем отнимания потерь напора в задвижке от характеристики насоса⁹. В этом случае потребляемая насосом мощность мало изменится по сравнению с отсутствием регулирования (рис. 3.22).

Небольшое снижение потерь энергии будет за счет уменьшения



избыточных напоров в сети и связанных с ними снижением потерь воды. Вместе тем, если дросселирование задвижкой технически допустимо, а других способов регулирования насосов нет, то такое регулирование считается целесообразным.

К преимуществам этого метода следует отнести:

1. Простота реализации.
2. Не нужны дополнительные капиталовложения.
3. Сокращение напоров в сети.
4. Уменьшение числа аварий на сети из-за уменьшения давления.

⁹ В некоторых источниках [47] дросселирование задвижкой на напорном патрубке толкуется, как увеличение сопротивления сети.

5. Снижение потерь воды.

Недостатки метода:

1. Перерасход энергии.
2. Сильное прикрытие может привести к выходу задвижек из строя.

Регулирование перепуском воды и впуском воздуха

Метод заключается в перепуске части жидкости, подаваемой насосом, из напорного патрубка во всасывающий трубопровод по обводной линии, на которой установлена задвижка для регулирования работы установки (рис. 3.23) [49].

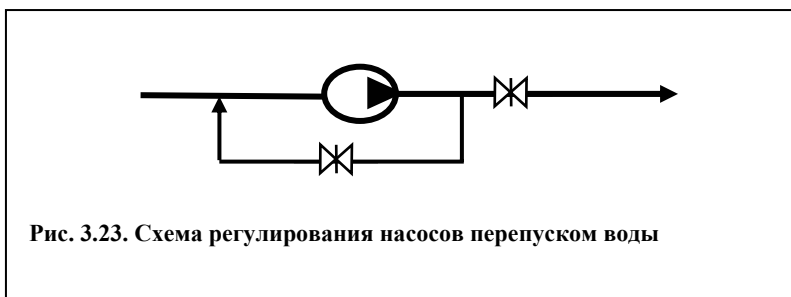


Рис. 3.23. Схема регулирования насосов перепуском воды

Метод применяют в осевых насосах, у которых мощность с увеличением подачи убывает. Перепуск жидкости во всасывающий трубопровод улучшает кавитационные характеристики насосов, однако здесь усложняется схема насосной установки и, что самое главное, снижается КПД насосной установки [47,49]. Поэтому этот метод практически не применяется в насосных станциях предприятий ВКХ.

Впуск воздуха во всасывающий трубопровод – более экономичный метод, чем дросселирование [47,49], однако глубина регулирования здесь ограничена из-за возможных резких ухудшений кавитационных характеристик насоса. Кроме того, в системах водоснабжения нельзя подавать в сеть воду с большим количеством воздуха.

Регулирование поворотом лопастей насоса

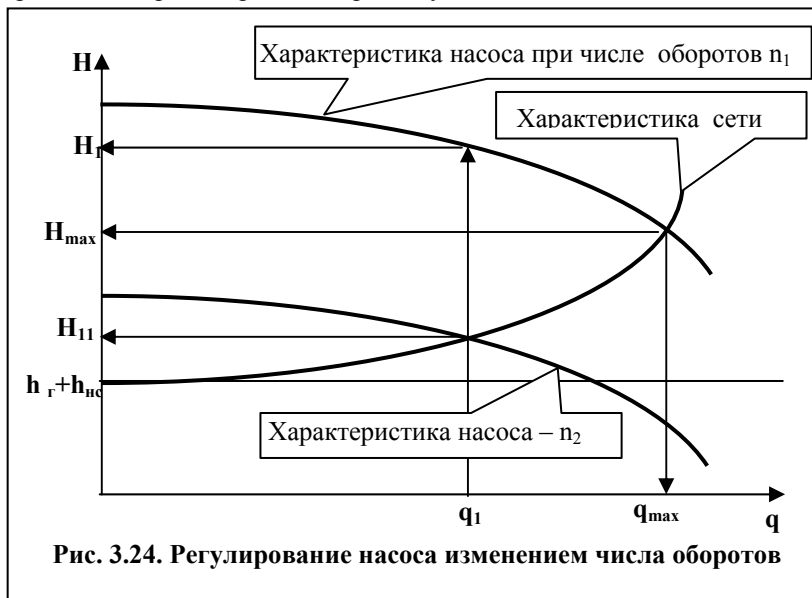
Этот метод применяется в средних и крупных поворотно-лопастных осевых насосах (например, насосы типа ОП[47,49]).

КПД насоса при повороте лопастей изменяется незначительно, поэтому этот способ регулирования значительно экономичнее регулирования дросселированием.

Осевые насосы применяют на тепловых электростанциях (в качестве циркуляционных), в шлюзовых установках в ирригации, а также на станциях первого подъема систем водоснабжения и в канализационных насосных станциях.

Регулирование изменением частоты вращения насоса

При изменении частоты вращения насоса характеристика насоса перемещается как бы параллельно себе (рис. 3.24). Этот способ регулирования является наиболее экономичным [47,49,50] и в последнее время все шире внедряется в практику.



Связь параметров насоса с числом его оборотов описывается формулами:

$$\begin{aligned} q_1/q_2 &= n_1/n_2, \\ H_1/H_2 &= (n_1/n_2)^2, \\ N_1/N_2 &= (n_1/n_2)^3, \end{aligned}$$

где q – подача;

n – частота вращения;

H – напор;

N – мощность, потребляемая электродвигателем.

Изменение частоты вращения насоса может быть реализовано следующими способами:

1. Использованием двигателей с переменной частотой вращения-
 - электродвигатели постоянного тока,
 - электродвигатели переменного тока с переключением обмотки на различное число пар полюсов,
 - коллекторные электродвигатели,
 - паровые и газовые турбины,
 - двигатели внутреннего сгорания.
2. Применением гидромуфты или электромагнитной муфты скольжения.
3. Изменением частоты тока.

В насосных станциях предприятий ВКХ наибольшее применение получили короткозамкнутые асинхронные двигатели переменного тока, не допускающие изменения частоты вращения.

Гидромуфты конструктивно сложны, требуют увеличения габаритов насосной станции и являются источниками потерь энергии, возрастающих с увеличением глубины регулирования.

Электромагнитные муфты скольжения одно время считались довольно перспективными [47]. Однако, в последнее время наибольшее распространение получили частотные преобразователи тока для регулирования работы насосов.

По данным фирмы "Wilo", являющейся одним из лидеров на мировом рынке насосов, в практике западноевропейских стран сегодня безусловное предпочтение отдается принципу управления числом оборотов двигателя насоса по сравнению с дроссельным или рециркуляционным решением. Высокая эффективность и простота применения этого принципа привели к его быстрому успеху. Альтернативные способы - двигатели постоянного тока, вязкое сцепление (гидромуфты) и др. применяются исключительно в нестандартных и специальных случаях.

Необходимо заметить, что уменьшение числа оборотов насоса допускается до 40 % от номинального, поскольку при очень малом числе оборотов двигатель может недостаточно охлаждаться. Напор при этом снижается примерно на 80%.

Серьезным недостатком систем частотного регулирования является их сравнительно высокая стоимость. Ориентировочная цена преобразователей мощностью от 160 до 450 кВт – 84 – 95 долларов США за 1 кВт мощности. Возможно использование одного преобразователя частоты для нескольких насосов. В этом случае нужна дополнительная станция группового управления стоимостью от 400 до 900 долларов США. Относительно высокие затраты на приобретение насосов с

электронным управлением, как утверждают фирмы производители, окупаются, как правило, очень быстро¹⁰.

Подробный анализ способов регулирования частоты вращения насосов приведен в [50].

3.3.2. Методы управления насосной станцией

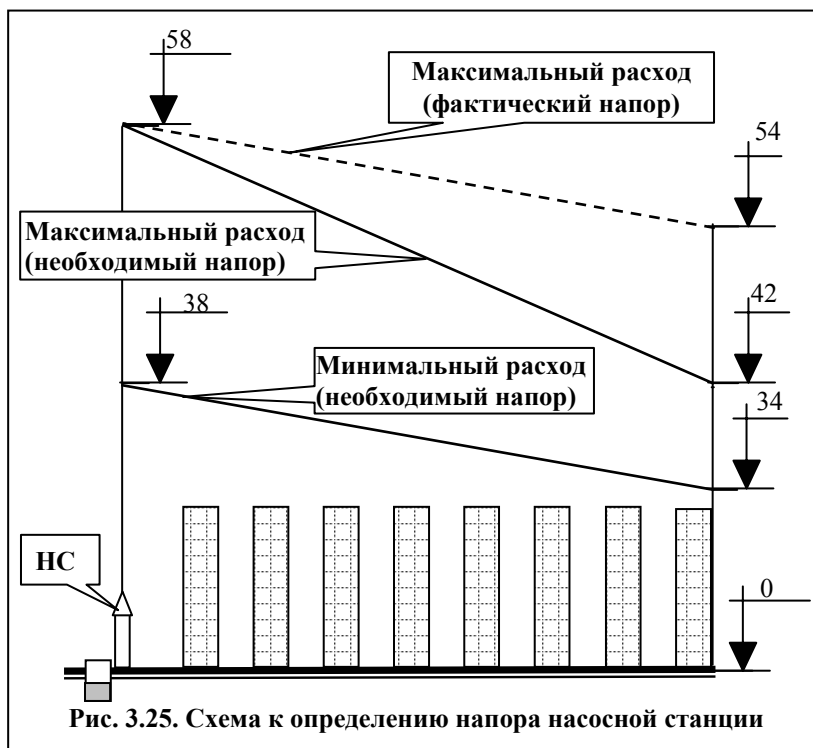
Под рациональным управлением насосной станцией понимают такие режимы её работы, при которых обеспечивается необходимая подача воды потребителям при минимальных избыточных напорах и минимальных расходах энергии.

Сложность решения задачи выбора таких режимов обусловлена очень широкими диапазонами колебаний необходимых расходов и напоров, происходящими в течение суток, по дням недели и по сезонам года. Так, для города с численностью населения 100 тыс. человек колебания суточных расходов составляют $\pm 30\%$. Еще большие колебания часовых расходов (в течение суток): от $+54\%$ до 72% [9].

Весьма велики колебания необходимых напоров на выходе из насосных станций. Рассмотрим упрощенную схему работы насосной станции на водопроводную сеть. Пусть город застроен 9-ти этажными домами, местность с плоским рельефом (рис. 3.25). Потеря в сети при максимальном водоразборе составляет 16 м, минимальный расход вдвое меньше максимального. Необходимый свободный напор для 9-ти этажной застройки при максимальном водоразборе – 42 м, при минимальном – 34 м [9].

Напор в начале сети при максимальном водоразборе равен $-42 + 16 = 58$ м, а при минимальном $-34 + 4 = 38$ м. Таким образом, напоры насосной станции в этих режимах отличаются на 20 м. Если при минимальном расходе использовать тот же насос, как и при максимальном, то при таком же развиваемом напоре (а фактически напор при уменьшении подачи растёт) во всей сети будут созданы значительные избыточные напоры (см. пункт на рис. 3.25). В результате в диктующей точке будет избыточный напор 20 м, а в остальных точках – еще больше. Отсюда понятна необходимость регулирования напоров на выходе из насосной станции.

¹⁰ Веб – узел - www.infoline.ru/~krm.nasos/price.htm#pchprice/.



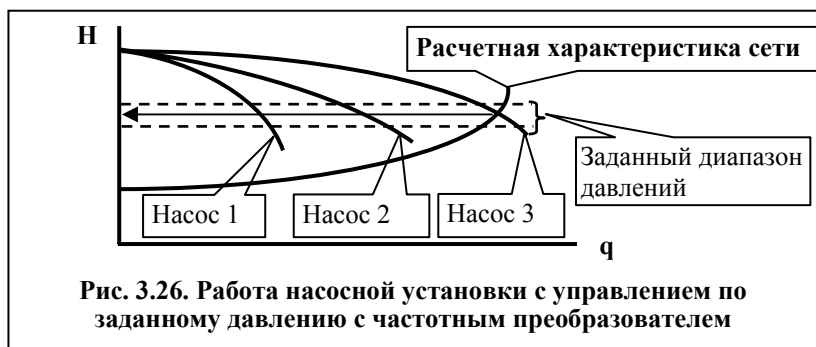
Такое регулирование на существующей насосной станции можно осуществлять следующими способами:

1. Выбором подходящего насоса или их сочетания.
2. Регулированием параметров нескольких или одного из работающих насосов (разд.3.3.1). Следует отметить, что вопрос об оптимальном регулировании группы насосов рассматривался еще в 30-е годы. В работе [51] доказано, что минимальный расход энергии будет при регулировании одного из группы параллельно работающих центробежных насосов. Этому же вопросу посвящены и более поздние статьи [52,53,54].
3. Использование автоматизированных систем управления (АСУ) работой систем подачи и распределения воды [50,55].

Из перечисленных способов наиболее эффективен, разумеется, последний – использование АСУ. Однако создание АСУ требует значительных капитальных затрат и решения ряда сложных технических задач, к которым, в частности, относится передача диспетчеру опера-

тивной информации о работе системы (например, напоров в диктующих точках сети). Кроме того, нельзя считать окончательно решенной проблему алгоритма управления системой из-за ее сложности, хотя такие исследования и проводятся [55]. Поэтому более реальным способом управления для большинства Водоканалов следует считать 1-й и 2-й способы.

Одним из наиболее простых способов управления насосной станцией является автоматизация работы насосов путем поддержания заданного давления на выходе из насосной станции [53]. Этот способ часто используют для сравнительно небольших подкачивающих насосных станций с использованием импортного оборудования (например, фирм Wilo или Grundfos). Для управления многонасосными установками фирма Wilo использует следующую технологию [56]. Контроль и управление работой установки осуществляется с помощью датчиков давления на выходе из насосной станции: в зависимости от этого давления в пределах заданного диапазона включаются или выключаются один за другим насосы установки (рис. 3.26).

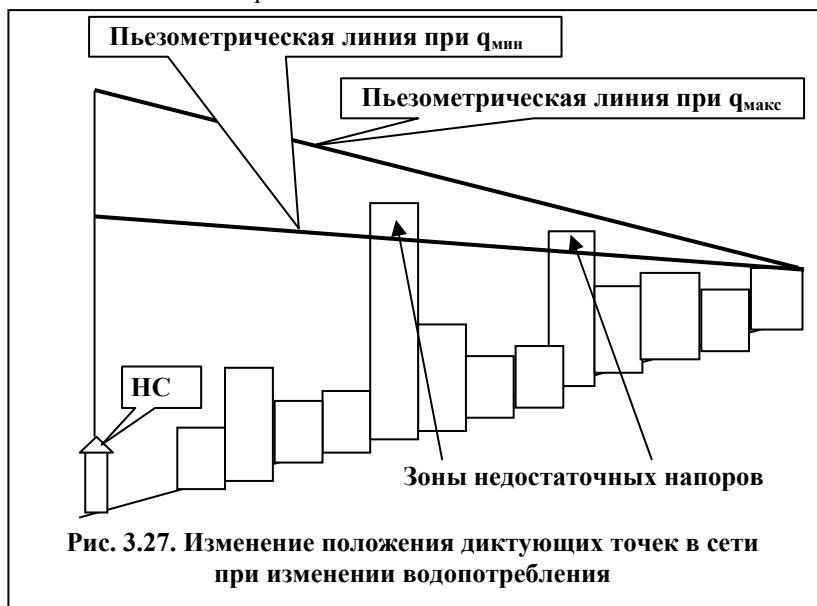


При использовании частотного преобразователя дополнительно производится изменение числа оборотов основного насоса, что позволяет снизить диапазон давлений, в пределах которого работают насосы.

Такая схема управления, безусловно, намного эффективнее, чем регулирование дросселированием – здесь значительно могут быть снижены и избыточные напоры насосов и давления в сети. Однако и в этой схеме будет перерасход энергии. Диапазон напоров, поддерживаемых на выходе из НС, выше, чем потребные давления, определяемые характеристикой сети (эта характеристика проходит ниже, чем полоса заданных давлений – см. рис. 3.26).

Наилучшие результаты с точки зрения энергосбережения дает управление по давлениям в контрольных точках сети. Этот метод управления рекомендован и в нормах проектирования [9]. Капитальные затраты здесь несколько увеличиваются за счет затрат на установку датчиков давления на сети и передачу сигналов от датчиков в пункт управления.

При размещении датчиков следует иметь в виду, что положение диктующей точки на сети может измениться при изменении подачи (рис.3.27). Поэтому ограничиться одной контрольной точкой не всегда удастся. Кроме того, при достаточном числе точек контроля давления в сети диспетчер имеет возможность оперативно устанавливать предполагаемые места аварий.



При наличии данных о давлениях в контрольных точках сети рациональное управление работой насосных станций сводится к решению задачи о том, какие насосы должны быть включены, с какими параметрами они должны работать (прикрытие задвижек, частотное регулирование и т.п.). Эта задача упрощается при наличии математической модели системы СПРВ, дающей связь напоров на выходе из насосной станции с давлением в контрольных точках в зависимости от подачи насосной станции.

Такие зависимости получают путем статистической обработки данных о свободных напорах в контрольных точках (H_K), напорах на выходе из насосных станций (H_n) и подачи насосной станции (Q_n). Этот вид обработки называют «пассивным» экспериментом. Значительно большую информацию получают с помощью «активного» эксперимента, при котором напоры и подачу НС меняют в значительно больших пределах. Эксперименты, проведенные в Москве, Санкт-Петербурге, Зеленограде и других городах, показали, что математические модели работы СПРВ могут быть описаны зависимостями вида

$$H_n = H_K + a + bQ_n,$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, меняющиеся в зависимости от периода водопотребления (например, они различны для максимального среднего и минимального расходов).

При наличии таких моделей можно разработать типовые графики работы насосов. Составление таких графиков является непростой задачей из-за возможной многовариантности ее решения, необходимости учета индивидуальных особенностей насосов (даже если они одной марки). Следует также учитывать необходимость равномерной загрузки агрегатов, чтобы избежать преждевременного их износа. Графики работы насосов должны периодически пересматриваться, поскольку изменяется характеристика обслуживаемой системы и, кроме того, меняются характеристики насосов. Однако значительно лучшие результаты будут получены при наличии автоматизированной системы управления работой СПРВ.

Контрольные вопросы

1. Перечислите методы регулирования работы насосов.
2. Какой из этих способов наиболее и наименее экономичен?
3. Как изменить частоту вращения электродвигателя насоса?
4. Каким образом управляют работой группы насосов при заданном диапазоне давления на выходе из НС?
5. Что такое контрольная точка на сети и как параметры в ней влияют на работу НС?
6. Для чего нужна математическая модель работы СПРВ?

3.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПРОВОДОМ

АСУТП¹¹ – автоматизированная система управления технологическим процессом – человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

Важная роль в АСУТП принадлежит человеку (диспетчеру, оператору), который воспринимает результаты обработки информации в ЭВМ, участвует в выработке оптимальных режимов, принимает окончательное решение по выбору управляющих воздействий и реализует их путем посылки команд на исполнительные механизмы.

АСУТП выполняет следующие задачи:

- получение информации от установленных на водопроводной сети датчиков (расход, давление, уровень и т.п.);
- передача информации с использованием аппаратуры телемеханики и связи в диспетчерский пункт;
- обработка этой информации с помощью средств вычислительной техники в целях расчета оптимальных режимов работы и выдача результатов оператору или управляющим механизмам.

По типу функционирования АСУТП классифицируют следующим образом:

- 1) информационные системы, осуществляющие автоматически или автоматизировано¹² сбор и обработку технологической информации - решение по управлению принимает и реализует диспетчер.
- 2) локально-автоматические системы, в которых автоматически выполняются информационные функции, а также функции локального управления отдельными объектами; решения по управлению технологическим процессом принимает и реализует диспетчер.
- 3) советующие системы, автоматически выполняющие п. 1) и формирующие советы диспетчеру по выбору управляющих воздействий;
- 4) автоматические системы, в которых все функции АСУТП выполняются автоматически, а диспетчер осуществляет надзор за ходом

¹¹ Иногда такие системы называют системами автоматизированного управления (САУ) [44].

¹² Автоматизированный режим – с участием человека, автоматический – без него.

технологического процесса и вмешивается только в случае необходимости.

Кроме того, в АСУТП есть блоки, выполняющие вспомогательные функции (внутрисистемный контроль над состоянием технических средств, хранением информации и т.п.).

Блок-схемы АСУТП обычно разрабатывают индивидуально для каждой системы водоснабжения. В качестве примера на рис. 3.28 приведена блок-схема общего функционирования АСУТП.

Централизованный контроль. Решаются задачи периодического измерения технологических параметров; обнаружение, оперативное отображение и сигнализация отклонений от заданных значений (в т.ч. аварийные сигналы).

Оперативный учет. Здесь с заданной периодичностью производится регистрация измеряемых технологических параметров и состояния оборудования. Осуществляется автоматическое ведение журнала эксплуатации за смену, сутки.

Расчет технико-экономических показателей (ТЭП). Один раз в сутки выполняются расчеты показателей, характеризующих работы водопровода, подсчитываются сводные показатели за сутки.

Диагностика технологических процессов. Выполняются расчеты по анализу отклонений технологических параметров от требуемых значений, определяется необходимость изменений технологического режима.

Рекомендации по рациональному режиму эксплуатации. Производятся расчеты режима работы технологических объектов, т.е. при необходимости вносятся изменения в оперативный план работы в соответствии с выявившимися отклонениями.

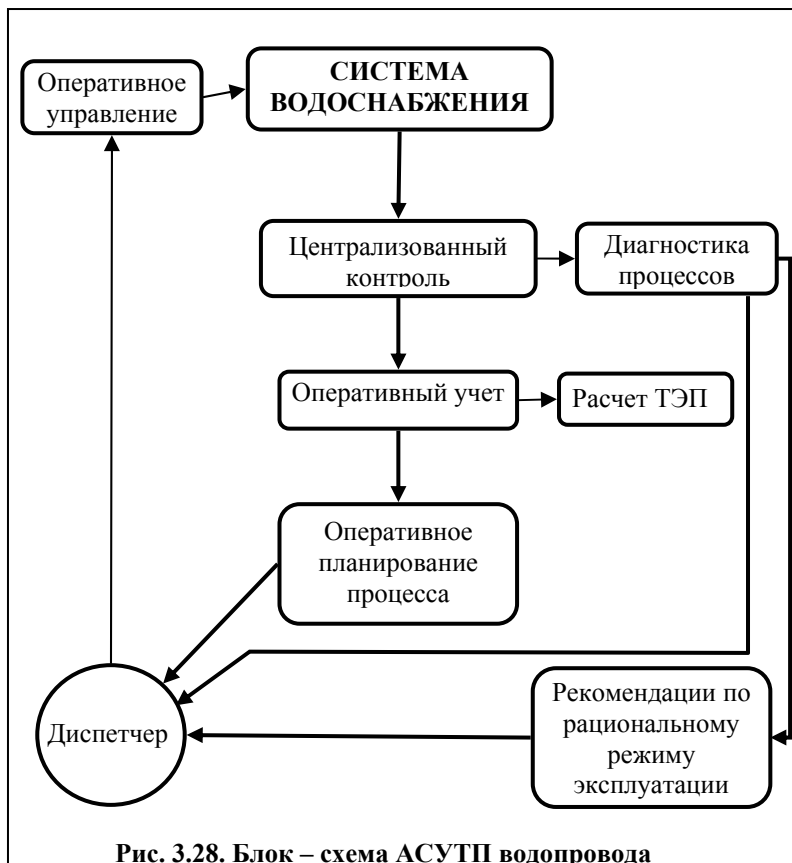
Оперативное планирование процесса. Производятся расчеты оптимальных режимов работы водопроводных сооружений на предстоящий период (часы, сутки).

Полученная информация накапливается в базах данных, а необходимая её часть передается в смежные системы управления, производится формирование массивов информации для передачи в АСУТП верхнего уровня (Водоканал, областные управления и т.д.).

Реализация АСУТП требует капиталовложений на устройство системы связи, сухих колодцев на сети (с датчиками давления, расходомерами), установка уровнемеров, расходомеров, управляемых поворотных затворов и т.п.

Кроме того, понадобятся затраты на приобретение компьютеров, создание сети и разработку программного обеспечения. Поэтому

целесообразно производить технико-экономическое обоснование по введению АСУТП и вводить его по частям (локальные, информационные и т.д.). Однако эти расходы достаточно быстро окупаются.



Основные факторы экономии за счет АСУТП:

1. Сокращение расхода электроэнергии.
2. Сокращение потерь и непроизводительных расходов (за счет снижения избыточного давления, числа аварий и т.п.).
3. Снижение затрат на аварийно-восстановительные работы вследствие сокращения числа аварий и уменьшение времени их ликвидации.

4. Сокращение штата.

Кроме того, снижается стоимость нового строительства сетей за счет выбора оптимальных путей развития сети.

Контрольные вопросы

1. Что такое АСУТП?
2. Какая разница между автоматической и автоматизированной системами?
3. Задачи АСУТП.
4. Перечислите АСУТП по типу функционирования.
5. За счет чего достигается экономическая эффективность от внедрения АСУТП?

Б. ВОДООТВЕДЕНИЕ

4. РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ И СООРУЖЕНИЙ НА НИХ

4.1. ОБСЛЕДОВАНИЕ И ПАСПОРТИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ, УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Разработке проекта реконструкции сетей предшествует детальное обследование и паспортизация.

Паспортизация сетей заключается в следующем:

- изучаются исполнительные чертежи сетей и топографическая съемка последних лет;
- вместе со службой эксплуатации выделяются наиболее нагруженные участки;
- осуществляется уточнение трассы существующей сети и составляются паспорта колодцев, в которых указывается адрес, привязка к существующим постоянным наземным объектам, приводятся данные о состоянии конструкций, схема трубопроводов, их диаметры, глубина заложения и материал труб;
- изучается гидравлический режим работы участков методом замера расходов сточных вод, на основе которого при перекрытии боковых присоединений можно установить наличие или величину инфильтрации или эксфильтрации.

На базе паспортизации сетей выполняется анализ их работы, и указываются участки, на которых необходимо проводить более детальное обследование. Так, на коллекторах больших диаметров возможное обследование верхнего свода коллектора с помощью видеокамеры.

Если отдельные участки сети переполняются периодически и это связано со сбросом производственных сточных вод, можно изменить время сброса последних за счет устройства регулирующей емкости на предприятии. Чтобы избежать перегрузки сетей, которые отводят сточные воды от промышленного узла, изучается режим отвода их в сеть и предлагается график сброса.

В городах, насыщенных водоотводными сетями, когда есть возможность перераспределения потоков сточных вод, между коллекторами можно использовать „кольцевание” самотечных коллекторов путем устройства перепускных линий.

Для определения утечек из напорных коллекторов используется замер подачи насосной станции и расхода, который поступает на очистные сооружения.

Анализ состояния отдельных сооружений на водоотводящей сети (камер перепадных колодцев, распределительных камер, дюкеров, эстакад, переходов под инженерными сооружениями) осуществляется в отдельности с использованием современных устройств и приборов. Особое значение имеет состояние железобетонных конструкций, которые разрушаются из-за газовой коррозии. Уменьшение её влияния на железобетонные конструкции осуществляется (где это возможно) либо уменьшением турбулентности потока, что предотвращает выделение растворенных в сточных водах газов, в особенности сероводорода, либо применением принудительной вентиляции сооружений. Защита железобетонных конструкций от действия газовой коррозии возможна также покрытием внутренних поверхностей защитным слоем после очистки и ремонта.

Реконструкция насосных станций перекачки сточных вод осуществляется по отдельному проекту и состоит в замене оборудования и восстановлении строительных конструкций. Для повышения производительности станции в машинном зале, если позволяет объем помещения, а также емкость приемного резервуара, возможна установка нового более мощного насосного оборудования.

При реконструкции насосной станции с удовлетворительным состоянием стен, построенной методом опускного колодца, можно использовать весь объем колодца как приемный резервуар, в котором

располагаются погружные насосы необходимой мощности (рис. 4.1). При этом демонтируется перегородка между резервуаром и машинным залом.

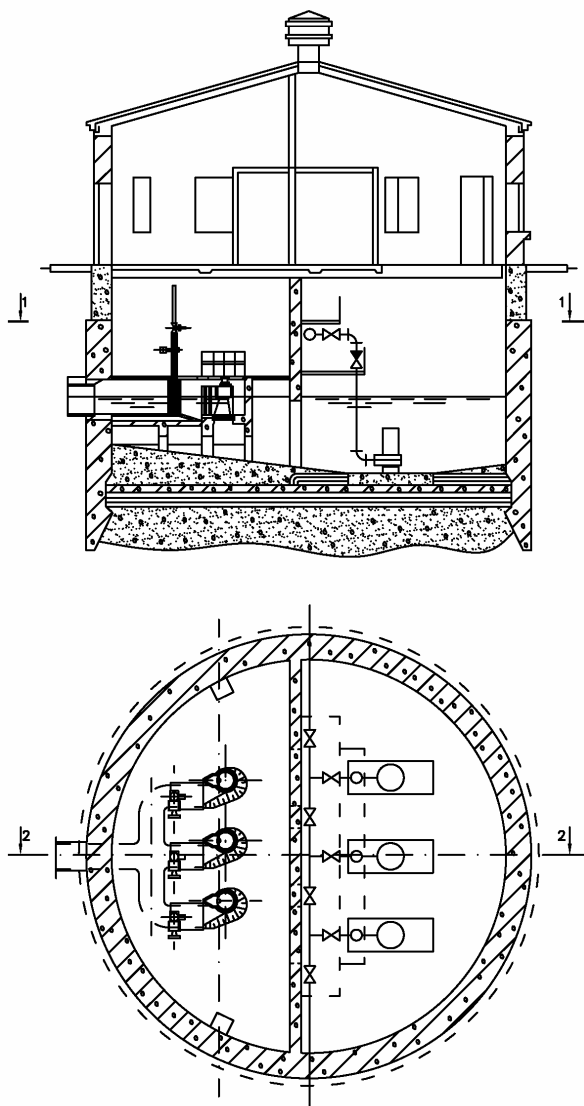


Рис 4.1. Канализационная насосная станция с использованием в качестве приемного резервуара всего объема колодца и установкой погружных насосов

Восстановление работы отдельных участков водоотводящих сетей осуществляется разными методами, которые можно свести к следующим:

- восстановление полимерным рукавом (метод „чулок”);
- метод „труба в трубе”;
- метод разрушения старого трубопровода с заменой на новый полиэтиленовый трубопровод такого же или большего диаметра.

Эти методы более детально рассмотрены в следующем разделе.

Если в процессе восстановления используются пластмассовые трубы стандартных диаметров, то их гидравлический расчет выполняется с помощью таблиц, которые позволяют определить пропускную способность (расход) при существующем уклоне и допустимых наполнении и скорости.

Так, при методе разрушения старого трубопровода можно определить необходимый диаметр нового для пропуска необходимого расхода.

При применении метода „труба в трубе” выполняется гидравлический расчет нового трубопровода, который будет меньшего диаметра, но и меньшей шероховатости (меньшее гидравлическое сопротивление на трение). Если старый трубопровод работал с наполнением меньше максимально допустимого, то применение этого метода может обеспечить пропуск необходимого расхода. Например, железобетонный трубопровод диаметром 800мм при расходе 270 л/с и наполнении $h/d=0,5$ и уклоне 0,0025 может быть восстановлен полиэтиленовым трубопроводом внешним диаметром 630 мм. При этом необходимый расход будет пропускаться при наполнении $h/d=0,6$ со скоростью 1,55 м/с [57].

Анализ пропускной способности пластмассовых труб, используемых для восстановления, по сравнению с пропускной способностью железобетонных труб показывает, что при наполнениях старого трубопровода, превышающих $0,55h$, пропускная способность нового трубопровода будет несколько меньшей. Поэтому необходимо искать методы для уменьшения расчетного расхода за счет перераспределения потоков или параллельной прокладки нового трубопровода для пропуска избыточного расхода. При восстановлении водоотводящего трубопровода полимерным рукавом его внутренний диаметр уменьшается на величину двойной толщины рукава, то есть новый диаметр будет равняться $d_n = d_c - 2\delta$ (d_c – первоначальный внутренний диаметр трубы; δ - толщина рукава). В этом случае возникает необходимость про-

верки пропускной способности нового трубопровода нестандартного диаметра, для которого не существует данных в таблицах для гидравлического расчета сетей канализации.

Для выполнения гидравлического расчета нового трубопровода используются известные формулы гидравлики и вспомогательные таблицы для определения гидравлических параметров поперечного сечения нового трубопровода, то есть d_n , w_n , R_n , в зависимости от наполнения. Эти данные приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Гидравлические характеристики поперечного сечения круглых труб при разном наполнении [57].

h/d	$w' = \frac{w}{r^2}$	$\chi' = \frac{\chi}{r}$	$R' = \frac{R}{r}$
0,50	1,571	3,14	0,500
0,60	1,968	3,54	0,555
0,65	2,162	3,75	0,576
0,70	2,349	3,97	0,593
0,75	2,527	4,19	0,603
0,80	2,694	4,43	0,608
0,85	2,846	4,69	0,606
0,90	2,978	5,00	0,596
0,95	3,083	5,38	0,573
1,00	3,142	6,28	0,500

Используя данные табл.4.1, можно определить гидравлические характеристики поперечного сечения трубы диаметром:

$$w_n = w' r_n^2; \chi_n = \chi' r_n; R_n = R' r_n,$$

где w_n - площадь поперечного сечения потока в трубе диаметром d_n в зависимости от наполнения, м²;

r_n - радиус трубы с полимерным рукавом, м; R_n - гидравлический радиус, м; χ_n - смоченный периметр, м.

Исходя из рекомендаций [57, 58], приведем результаты расчета для железобетонных труб диаметром 800....3000 мм с толщиной полимерного рукава $\delta = 50$ мм при максимальном наполнении и минимальной незаиливающей скорости (регламентированных СНиП [58]), которой соответствует минимальный уклон i_{min} . Расход трубопровода

принят по таблицам [57]. С учетом особенностей движения жидкости в трубопроводах круглого поперечного сечения при неполном наполнении, учитываемых коэффициентом κ' (таблица 4 [57]), при определении расхода коэффициент гидравлического трения нового трубопровода (с полимерным рукавом) определялся по формуле:

$$\lambda_n = \frac{0,25}{\left[\lg \left(\frac{\Delta e}{13,68 \cdot R_n} + \frac{a_2}{Re_n} \right) \right]^2} \quad (4.1)$$

где, Δe – эквивалентная шероховатость; a_2 – безразмерный коэффициент, a_2 в данном случае равняется 20 (таблица 2 [57]); R_n и Re_n – соответственно гидравлический радиус и число Рейнольдса нового трубопровода [57].

Коэффициент гидравлического трения λ_n и скорость течения V_n не уточнялись в связи с изменением Re_n , а принимались при первом приближении при переменной λ_n по формуле:

$$V_n = 2 \sqrt{\frac{19,6 R_n}{\lambda_n}} \sqrt{i_{min}} \quad (4.2)$$

Таблица 4.2. Результаты расчета железобетонных труб диаметром 800....3000 мм с толщиной полимерного рукава $\delta = 50 \text{ мм}$ при максимальном наполнении и минимальной незаиливающей скорости, соответствующей $i_{\min}$.

$d, \text{ мм}$	h/d	$V_{\min}, \text{ м/с}$	$\frac{i_{\min}}{\sqrt{i_{\min}}}$	$Q_3, \text{ м}^3/\text{с}$	$\frac{d_n = d - 2\delta, \text{ мм}}{r_n, \text{ м}}$	$w_n = w \cdot r_n^2, \text{ м}^2$	$R_n = R \cdot r_n$	λ_n	$V_n, \text{ м/с}$	$\frac{Q_n, \text{ м}^3/\text{с}}{Q_n \cdot k'}$	$\frac{Q_n \cdot k'}{Q}$
800	0,75	1,0	$\frac{0,0017}{0,041}$	0,4	$\frac{700}{0,35}$	0,311	0,211	0,013	1,46	$\frac{0,454}{0,4}$	1
1000	0,80	1,15	$\frac{0,0017}{0,041}$	0,78	$\frac{900}{0,45}$	0,547	0,274	0,0122	1,72	$\frac{0,941}{0,828}$	1,06
1200	0,80	1,15	$\frac{0,0014}{0,0374}$	1,15	$\frac{1100}{0,55}$	0,817	0,335	0,012	1,75	$\frac{1,43}{1,26}$	1,09
1400	0,80	1,3	$\frac{0,0014}{0,0374}$	1,73	$\frac{1300}{0,65}$	1,14	0,396	0,0112	1,97	$\frac{2,25}{1,98}$	1,14
1600	0,80	1,5	$\frac{0,0016}{0,04}$	2,63	$\frac{1500}{0,75}$	1,517	0,456	0,0107	2,31	$\frac{3,5}{3,08}$	1,17
2000	0,80	1,5	$\frac{0,0012}{0,0346}$	4,1	$\frac{1900}{0,95}$	2,433	0,578	0,0103	2,30	$\frac{5,6}{4,9}$	1,2
2400	0,80	1,5	$\frac{0,001}{0,0316}$	6,03	$\frac{2300}{1,15}$	3,565	0,7	0,01	2,34	$\frac{8,3}{7,3}$	1,22
3000 (тон.)	0,80	1,5	$\frac{0,001}{0,0316}$	11,2	$\frac{2900}{1,45}$	5,666	0,882	0,0094	2,71	$\frac{15,4}{13,5}$	1,21

Как видно из табл. 4.2, при восстановлении железобетонного трубопровода полимерным рукавом толщиной 50 мм пропускная способность при максимальном наполнении, регламентированном строительными нормами, и минимальной скорости [58] будет несколько больше за счет уменьшения гидравлического коэффициента трения, несмотря на уменьшение поперечного сечения трубопровода.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит обследование и паспортизация сетей водоотведения?
2. Какие мероприятия используются для обеспечения нормальной работы сетей водоотведения?
3. Как реконструировать насосную станцию перекачки (увеличить подачу)?
4. Почему может увеличиться пропускная способность железобетонного трубопровода при восстановлении его полимерным рукавом?

4.2. БЕСТРАНШЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ПРОКЛАДКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

При строительстве новых и расширении старых городов и мегаполисов, их подземная инфраструктура, в том числе водоотводящие системы, создавались, в основном, открытым способом. Этот способ, как известно, состоит в выкапывании траншеи, укладки в ней трубы на необходимых отметках и последующей засыпки траншеи вынутым грунтом. Однако, в условиях современных городов с их застройкой, подземной инфраструктурой, насыщенным движением транспорта использование открытых методов прокладки водоотводящих систем не только очень сложно, но во многих случаях невозможно. Аналогичная ситуация наблюдается в США и странах Европы, где в благоустроенных городах 95% работ по прокладке и восстановлению трубопроводов осуществляется бестраншейным способом.

В этих условиях важным является не строительство новых водоотводящих линий, а обеспечение надежной эксплуатации существующих подземных коммуникаций, что неизбежно связано с заменой, перекладкой и реконструкцией участков сетей, отработавших свой нормативный срок и являющихся аварийными.

Можно выделить такие основные методы прокладки и реконструкции трубопроводов бестраншейным способом:

- прокалывание, пробивание и продавливание;
- горизонтальное направленное бурение;
- раскатывание;
- щитовая проходка;
- создание микротоннелей.

Выбор бестраншейного способа прокладки труб зависит от диаметра и длины трубопровода, физико-механических свойств и гидрогеологических условий грунтов, которые разрабатываются. Кроме того, способ также зависит от наличия в строительных организациях соответствующих трубопрокалывающих, продавливающих и бурильных агрегатов, установок и оборудования. На основании опыта бестраншейной прокладки трубопроводов для облегчения выбора можно воспользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 4.3.

При прокладывании труб бестраншейными способами сначала под дорогами устраивают защитные кожухи или футляры, а потом в них прокладывают рабочие трубопроводы. Чтобы это стало возможным, диаметр кожуха (футляра) должен быть большим, чем диаметр прокладываемого трубопровода (табл. 4.4). Для защитных кожухов (футляров) применяют стальные трубы: бесшовные горячекатаные, сварные прямошовные и спирально-шовные. Горячекатаные трубы применяют только для кожухов переходов диаметром до 273 мм, а для трубопроводов больших диаметров используют обычно большеразмерные сварные прямо- или спирально-шовные трубы.

Длину кожуха определяют, исходя из ширины дорожного полотна (или дорожной насыпи) и нормативных расстояний. Охрану кожухов от коррозии обеспечивают асбесто- или песчано-цементными, асфальто-цементно-битумными, эпоксидными или полимерными антикоррозийными покрытиями, которые наносятся на их поверхность.

Прокол и пробивание.

При прокладке труб проколом с использованием домкратов сначала определяют нажимное усилие, после чего принимают необходимое количество гидродомкратов для силовой установки, а также выбирают тип упорной стенки в котловане.

Таблица 4.3. Рекомендации по выбору способа бестраншейной прокладки трубопроводов

Способ	Трубопровод		Оптимальные грунтовые условия применения	Скорость прокладки, м/ч	Необход. усилие, кН	Ограничения по применению способа
	D, мм	L, м				
Прокол:	50-500	80	Песчаные и глинистые без твердых включений	3-6	148-2450	В скальных грунтах не применяется
Механический с помощью домкратов						
Гидропрокол	100-200 400-500	30-40 20	Песчаные и супесчаные	1,6-14	250-1600	Возможен при наличии источника воды и места для сброса пульпы
Вибропрокол	500	60	Не связные песчаные, супесчаные и плывуны	3,5-8	5-7,5	В твердых и скальных грунтах не применяется
Грунтопрокалывателями	89-108	50-60	Глинистые	2,5-2	-	То же
Пневмопробойниками	300-400	40-50	Мягкие грунты до III группы	30-40 (без расширителей)	0,75-25	В грунтах с повышенным водонасыщением и малым сцеплением не применяется
Продавливание	400-2000	70-80	В грунтах I-III групп	0,2-1,5	4500	В плывунах не применяется. В твердых породах используется лишь для продавливания труб максимального диаметра
Горизонтальное бурение	325-1720	40-70	В песчаные и глинистые	1,5-19	-	При наличии грунтовых вод не применяется

Таблица 4.4. Необходимые диаметр и толщина стенок защитного кожуха (футляра)

Внешний диаметр, мм		Толщина стенки защитного кожуха, мм, при способе про- кладки			Внешний диаметр, мм		Толщина стенки защитного кожуха, мм, при способе про- кладки		
Рабочего трубо- провода	Защит- ного кожуха	Откры- том	Бестраншейном		Рабоче- го тру- бопро- вода	Защитного кожуха	Откры- том	Бестраншейном	
			Гори- зонталь- ное бу- рение	Продав- ливание и про- кол				Горизон- тальное бурение	Про- давли- вание и прокол
159	325	8	8	9	720	920	10	10	12
219	377	9	9	10	820	1020	10	11	14
273	426	9	9	11	920	1220	10	11	14
325	530	9	10	12	1020	1220	10	11	14
426	630	10	10	12	1220	1420	11	12	14
530	720	10	10	12	1420	1720	16	16	16
630	820	10	10	12					

Для прокола труб чаще всего применяют нажимные насосно-домкратные установки, которые состоят из одного или двух соединенных гидравлических домкратов типа ГД-170 с усилием до 170 тс каждый, смонтированных на общей раме. Штоки домкратов имеют большой свободный ход (до 1,15-1,3м). Раму с домкратами устанавливают на дне рабочего котлована, из которого ведут прокол. Рядом с котлованом на поверхности размещают гидравлический насос высокого давления – до 30 МПа. Трубу заталкивают циклически путем попеременного переключения домкратов на прямой и обратный ход. Давление домкратов на трубу передается через наконечник сменными нажимными патрубками, шомполами или хомутами. При применении нажимных «удлиняющихся» патрубков длиной 1, 2, 3 и 4 м после вдавливания трубы в грунт на длину хода штока домкрата (например, 1м) шток возвращают в первоначальное положение и в образовавшееся пространство вставляют другой патрубок удвоенной длины и так продолжают до тех пор, пока не закончат прокол первого звена трубопровода (обычно 6м). Потом к нему приваривают другое звено, и указанные операции повторяют до тех пор, пока не будет завершен прокол на всю длину трубопровода.

Гидропроколом трубы прокладывают с использованием кинетической энергии струи воды, которая выходит под давлением из расположенной впереди трубы специальной конической насадки. Такая струя размывает в грунте отверстие диаметром до 500мм, в которое прокладывают трубы. Расход воды при этом зависит от скорости струи, напора воды и категории грунтов, которые проходятся. К преимуществам гидропрокола относятся относительная простота проведения работ и довольно высокая скорость образования буровой скважины (до 30м за смену). Существенными его недостатками являются сравнительно небольшая протяженность проходки (до 20-30м), возможные отклонения от проектной оси и сложные условия работы вследствие загрязненности рабочего котлована.

В несвязных песчаных, супесчаных и плывунных грунтах бестраншейную прокладку ускоряют с помощью вибропрокола. В установках для вибропрокола применяются возбудители продольно-направленных колебаний. Одной из наиболее эффективных установок вибропрокола является ударно-вибрационно-вдавливающая установка УВВП-400 конструкции ВНИИГС (Россия). При использовании этой установки трубу, которая прокладывается, с закрепленным на одном конце инвентарным наконечником, другим концом устанавливают в наконечнике ударной приставки вибромолот. Под действием ударных

импульсов совместно со статическим вдавливанием с помощью пригрузочного полиспаста секция труб последовательно вводится в грунт.

Для бестраншейной закрытой прокладки труб диаметром 63-400мм широко применяются механические грунтопрокалывающие и пневматические пробойники типов ПР-60 (СО-144), ИП-4605, ИП-4603, ПР-400 (СО-134) и М-130. По этому методу сначала осуществляют проходку горизонтальных буровых скважин и последующее затягивание в них труб (диаметром до 400 мм) с помощью пневмопробойников (рис. 4.2).

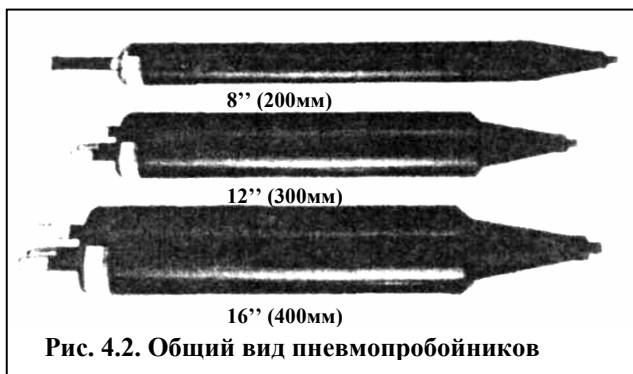


Рис. 4.2. Общий вид пневмопробойников

Последние имеют обтекаемый корпус, в котором размещен ударник и воздухораспределительный механизм (для обеспечения как прямого, так и обратного хода пробойника). Для прохождения буровой скважины пневмопробойник запускают в грунт из входного приемка в направлении приемного. В процессе движения он своим коническим передним концом уплотняет грунт, раздавливает его в стороны и образует буровую скважину. Благодаря осевой симметрии и значительной длине пневмопробойника, последний при движении в грунте сохраняет заданное направление. При обеспечении точного запуска пневмопробойника отклонение буровой скважины от проектного положения при длине 20м, как правило, не превышает 0,2-0,3м по вертикали и 0,05-0,1м по горизонтали. При проколе стальных труб с помощью пневмопробойников их используют в качестве ударного узла, который присоединяется к заднему торцу трубы и забивает ее в грунт. На переднем торце трубы крепят конусный наконечник. При этом возможны два варианта технологии работ: забивание трубы в грунт и забивание ее в буровую скважину (в плотных глинистых грунтах). С помощью пневмопробойника можно заменять старые трубы подземной проклад-

ки новыми того же или большего диаметра. Для этого первую секцию нового трубопровода присоединяют к тому, который удаляется (в случае разных диаметров – с помощью конического переходника), а старую трубу по мере выхода в приемный котлован обрезают и удаляют. К положительным сторонам можно отнести высокую скорость движения пробойника и довольно простую его эксплуатацию.

Продавливание.

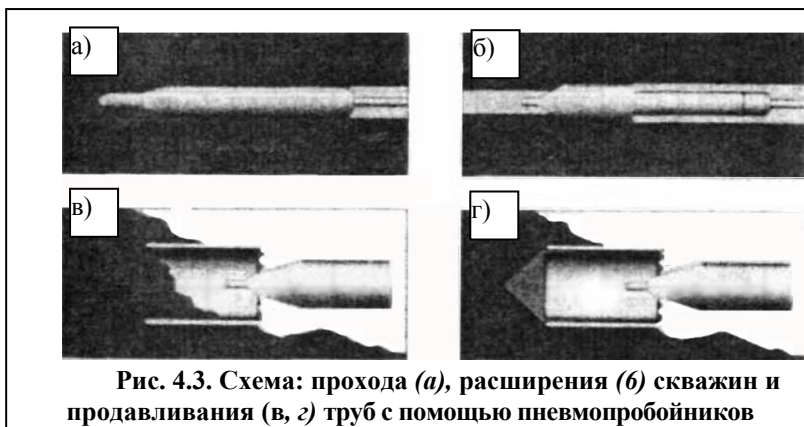
Бестраншейная прокладка продавливанием отличается тем, что трубу, которая прокладывается открытым концом, оснащенным ножом, вдавливают в массив грунта, а грунт, попадающий в трубу в виде плотного керна (пробки), разрыхляют и удаляют из забоя. При продвижении трубы преодолевают усилия грунта по внешнему ее контуру и врезания ножевой части в грунт. Для продавливания труб применяют нажимные насосно-домкратные установки с двумя, четырьмя, семью и большим количеством домкратов с усилием по 500-3000 кН каждый с ходом штока 1,1-2,1 м, работающие с помощью насосов высокого давления. Количество домкратов в установке зависит от необходимого нажимного усилия. Поскольку для продавливания труб больших диаметров, особенно в твердых грунтах, применяют весьма мощные нажимные установки с несколькими домкратами, которые способны создать усилие более 10000 кН, то для них необходимы крепкие упорные стенки.

Применение ручной разработки грунта при продавливании мало эффективно. Поэтому для бестраншейной прокладки чаще всего применяют установки с механизированной разработкой и удалением грунта, в том числе установки типов СКВ Главмосстроя (Россия) и ПУ конструкции ЦНИИ «Подземмаша» (Россия).

Продавливание также осуществляют путем забивания в грунт стальных трубопроводов диаметром 400-1400 мм с помощью пневмударных машин. Принцип осуществления продавливания с помощью пневмударных машин состоит в следующем. Внутри трубы размещают виброударную желонку. При проходке труба открытым концом вводится в грунт на определенное расстояние (заходка). Затем желонка подается канатом к ее забойному концу и с помощью молота вдавливается в грунт, забирает его и перемещается к разгрузочным окнам, где под действием ударов вибромолота грунт высыпается через окна желонки в разгрузочные окна на дно траншеи.

Процесс проходки состоит из нескольких циклов, периодически повторяющихся, в которых каждое введение в грунт трубы на 1-5 диа-

метров чередуется с отбором грунтового керна виброударной желонкой. На рис. 4.3 показаны возможные функции пневмопробойников.



Горизонтально- направленное бурение.

Оборудование, необходимое для горизонтального бурения, состоит из трех основных частей: блока гидравлического давления, буровой установки и смесителя. Буровая установка – это гидравлическое приспособление, которое выполняет две функции: проталкивает штанги для бурения или вытягивает их из грунта. Во время этого процесса одновременно можно осуществлять вращательные движения. С помощью смесителя готовится раствор для бурения. Такой раствор состоит из смеси бентонита (или полимеров) и воды. Буровая установка и смеситель работают от блока гидравлического давления.

Процесс бурения и прокладки звена трубопровода в буровую скважину может быть раздельным и совмещенным. При раздельном сначала бурят скважину, а потом, после извлечения из нее бурового инструмента, протаскивают трубопровод. При совмещенном методе одновременно с продвижением бурового инструмента прокладывают трубу. Трубы диаметром до 150 мм прокладываются с помощью гидроразрыва с использованием вышеупомянутого раствора на основе бентонита или полимеров (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Схема направленного бурения гидроразрывом

Трубы большего диаметра прокладываются с помощью установок горизонтального шнекового бурения (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Установка горизонтального шнекового бурения

Основным показателем таких установок является сжимающее усилие. Так, установки со сжимающим усилием 4 т, используют для прокладки труб диаметром до 300 мм и длиной до 50 м. Установки, которые имеют сжимающее усилие 30 т, позволяют прокладывать трубы диаметром до 500 мм на расстояние до 400 м (рис. 4.6).

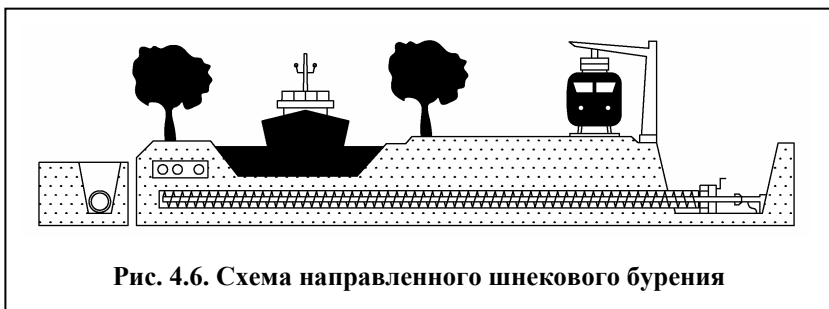


Рис. 4.6. Схема направленного шнекового бурения

Приобрели распространение унифицированные шнековые установки горизонтального бурения (УГБ и ГБ), в которых совмещаются процессы бурения, прокладки труб с непрерывным удалением грунта из забоя. С помощью установок УГБ и ГБ можно прокладывать трубопроводы в грунтах IV группы диаметром 325-1420 мм протяженностью 40-60 м при скорости бурения от 1,5-1,8 до 12,7-19 м/ч. Процесс бурения буровой скважины и прокладки трубопровода с помощью установок УГБ и ГБ следующий. В процессе прокладки непрерывное механическое бурение буровой скважины осуществляется фрезерной головкой, а удаление разрыхленного грунта – винтовым конвейером.

Способом горизонтального бурения можно осуществлять выработки для бестраншейной прокладки трубопроводов практически любых диаметров с относительно меньшими усилиями, чем при проколе или продавливании. Однако существенным недостатком при этом остается необходимость удаления из пробуренной буровой скважины грунта. Поэтому сейчас разрабатывается новая технология проходки горизонтальных выработок без удаления грунта способом бурения и раскатывания.

Раскатывание используют для проходки и расширения существующих буровых скважин за счет специальной расширяющей головки (рис. 4.7) и приводится в движение буровым станком через наращиваемые буровые штанги. При вращении головки грунт вдавливаются в стенки буровой скважины и получается цилиндрическая пустота, в которую потом, при реверсе этой головки, затаскивается трубопровод. Соответствие оси головки, которая осуществляет расширение, оси запроектированного трубопровода контролируют лазерной системой наведения.

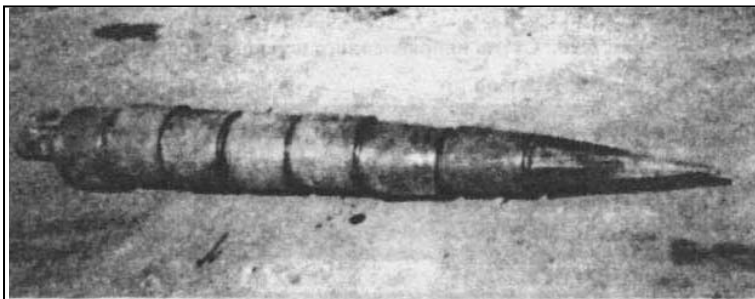


Рис. 4.7. Общий вид головки для расширения

Щитовая проходка.

Этот метод реализуется путем создания закрытым способом туннелей механизированными щитами диаметром 1,5-3,6 м с последующей прокладкой труб необходимого диаметра и забутовкой свободного пространства. Щит состоит из трех основных частей: передней – режущей клинообразной формы с козырьком или без него, средней – опорной, где размещаются домкраты и задней – хвостовой. Щит вдавливается в грунт гидравлическими домкратами, а грунт перед щитом разрабатывают ручным или механизированным способом. Строительство стенок коллектора выполняют в хвостовой части щита. Для щитовой проходки применяют проходческие щиты нескольких видов, которые в зависимости от способа разработки грунта в забое подразделяются на механизированные, частично механизированные и немеханизированные. Механизированные щиты более продуктивны, но сложнее в эксплуатации, а немеханизированные отличаются простотой в управлении и широко применяются при проходке коллекторов диаметром до 2,5 м. Механизированные щиты имеют механизмы для разработки грунта, укладки блоков и выдачи разработанного грунта на загрузочные средства. Рабочие органы щитов могут быть роторными, штанговыми, экскаваторными, гидромеханическими. Например, в щите с роторным рабочим органом в результате его вращения грунт, разрушенный режущими, непрерывно подхватывается спиральными лопатками и через приемочное окно поступает на ленточный конвейер, а потом в тележку с кузовом, который снимается. Недостатком этого метода является то, что при щитовой проходке в водонасыщенных и слабостойких грунтах необходимо осуществлять дорогие операции по водопонижению, замораживанию и химическому закреплению. Кроме

этого, создание туннелей в застроенных районах города, неизбежно связано с необходимостью ограничения движения транспорта.

Создание микротоннелей.

Этот метод устраняет недостатки предыдущего. В частности путем создания микротоннелей можно осуществлять 10-15 м проходки за сутки практически во всех горно-геологических условиях, в том числе в водонасыщенных грунтах без водопонижения или закрепления грунтов. На рис. 4.8 приведен общий вид микроштитов.



Рис. 4.8. Микроштиты разных диаметров фирмы „Soltan”

Фирма „Herrenknecht” - один из мировых лидеров по выпуску щитов для разработки микротоннелей. Она выпускает щиты диаметром от 150мм до 14,2м, при использовании которых устраняется ручная работа в забое, механизмируется процесс прокладки труб, и все управление технологическим процессом осуществляет машинист из централизованного пульта. Схема строительной площадки при этом методе бестраншейной прокладки трубопроводов приведена на рис. 4.9.

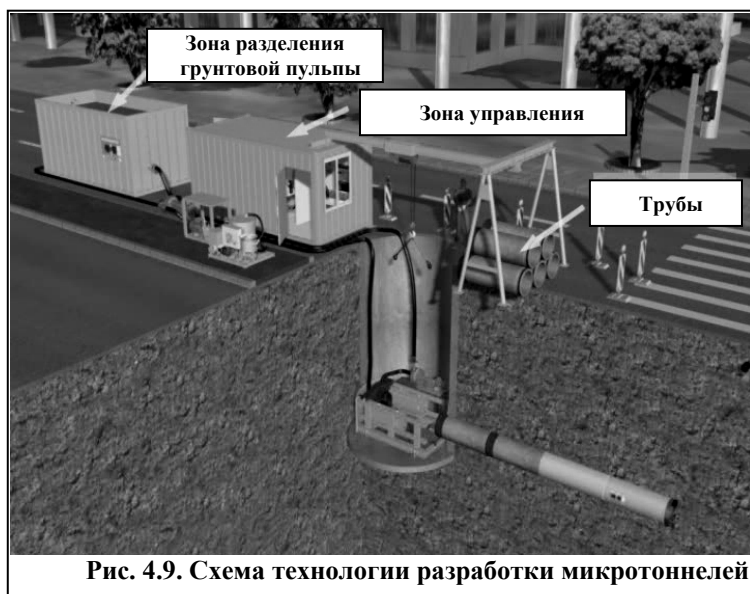


Рис. 4.9. Схема технологии разработки микротоннелей

Допустимый зазор между трубопроводом, который прокладывается, и расположенными в земле коммуникациями при этом методе составляет не менее 1 м, отклонения от проектных отметок не превышают 10-20 мм.

Вышеприведенные методы закрытой прокладки используют не только для строительства новых трубопроводов, но и при замене старых, аварийных участков сетей на новые. В России разработаны и серийно применяются пневмомолоты, которые используются вместе с расширителями для разрушения старого трубопровода, подлежащего замене.

В отечественной и зарубежной практике успешно применяются технологии восстановления канализационных трубопроводов с помощью полимерного рукава. Так МГП „Мосводоканалом” применяется технология, которая разрешает в сжатые сроки восстановить трубопроводы диаметром от 150 до 500 мм и увеличить срок их службы. Санацию осуществляют без раскрытия грунта и прекращения движения городского транспорта. Рукав транспортируют в дефектный трубопровод прямым продвижением (с помощью лебедки), отвердение рукава происходит под действием пара. Под давлением пластиковый рукав плотно прилегает к поверхности поврежденной трубы, равномерно по-

крывая ее высокопрочным армирующим составом. Труба становится гладкой и полностью герметичной. Однако эта технология имеет ограничения по ремонту трубопроводов большого диаметра и значительной длины, так как из-за большой массы очень сложно транспортировать рукавную заготовку в трубопровод прямым продвижением.

В больших городах остро стоит проблема восстановления трубопроводов до 1000 мм с длиной захвата от 100 м и более. В данное время специалисты ДГУП «Сант» разработали технологии восстановления трубопроводов диаметром 400-1000 мм полимерным рукавом.

По данной технологии внутрь ремонтируемого участка вводится предварительно пропитанный рукав, который продвигается по трубопроводу с помощью гидростатического давления, создаваемого водяным столбом высотой от 3 до 8 м (рис. 4.10). Под действием давления воды пропитанный рукав равномерно и плотно прилегает к поврежденным стенкам трубопровода. Таким образом, осуществляется восстановление всех повреждений в трубопроводах любой формы и материала, из которого они сделаны. После введения рукава в поврежденный трубопровод, начинается процесс постепенного нагревания воды внутри него за счет циркуляции через бойлерную установку.

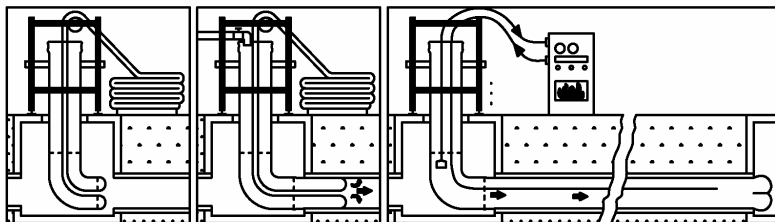
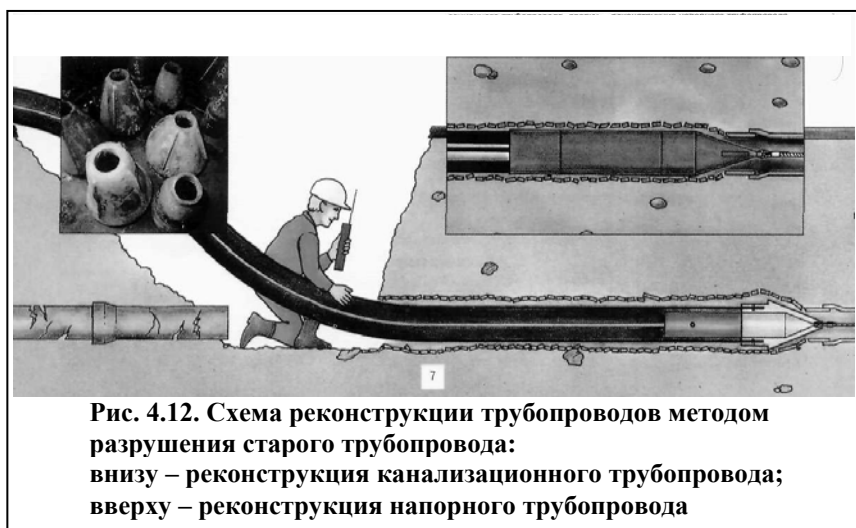


Рис. 4.10. Схема восстановления трубопровода полимерным рукавом

Для реконструкции старых поврежденных трубопроводов применяют также метод «труба-труба» (рис. 4.11). В этом методе используются пластмассовые трубы длиной 10-12 м, которые свариваются вместе и или втягиваются, или заталкиваются в старый поврежденный трубопровод. Желательно, чтобы в старом трубопроводе не было колен с углом более 10 градусов и большого числа ответвлений.



Метод разрушения старого трубопровода позволяет заменить существующие трубопроводы новыми такого же или большего диаметра (рис. 4.12). Обычно бывает достаточно одного или двух котлованов.



Этот метод удобно применять в тех случаях, когда доступ к канализационным трубопроводам затруднен из-за большой глубины про-

кладки или проблем, связанных с движением транспорта или грунтовыми водами. В методе разрушения старого трубопровода используется пробойник – так называемый „крот” – который проходит старый трубопровод, разрушает его и заменяет его новым полиэтиленовым трубопроводом. При выполнении реконструкции используется встроенная защитная труба, которая помогает избежать образования царапин и зазубрин. При замене чугунных, бетонных, асбестоцементных, PVC и керамических трубопроводов участок длиной до 120 м можно реконструировать за один день. Размеры новых напорных трубопроводов – от 50 до 315мм, канализационных трубопроводов – от 100 до 600мм.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют основные методы прокладки и реконструкции трубопроводов бестраншейным способом?
2. От каких факторов зависит выбор бестраншейного способа прокладки труб?
3. Как осуществляется прокалывание и пробивание?
4. Какая последовательность выполнения работ при продавливании?
5. Что такое «горизонтальное направленное бурение» и как оно осуществляется?
6. В чем состоит метод щитовой проходки и микротуннелирования?
7. Какие методы восстановления трубопроводов используют?

5. НЕОБХОДИМОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

5.1. ГЛАВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ДЕЙСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЯХ

1. *Несоответствие принятой технологии очистки количеству, составу и свойствам сточных вод.* Неправильное определение расчетных расходов, состава и концентраций загрязнений сточных вод, ошибки в выборе технологической схемы, расчетных параметров и типов сооружений приводят к тому, что введенные в действие новые очистные сооружения со временем оказываются неработоспособными.

Часто причиной низкой эффективности очистки сточных вод является наличие в смеси сточных вод, поступающих на очистные сооружения, значительной части специфических промышленных сточных вод.

Существенное занижение объемов отдельных сооружений, мощности действующего аэрационного оборудования часто обусловлено несовершенным проектированием станций биологической очистки смеси производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод по нормативным данным действующих строительных норм и правил, не учитывающих специфику данного вида производственных сточных вод. Так, в результате расчета аэротенков оказываются необоснованно завышенные удельные скорости окисления загрязнений и дозы активного ила в зоне аэрации, а при расчете биофильтров - окислительная мощность загрузки.

2. Превышение проектной производительности очистных сооружений. Производительность сооружений определяется двумя главными расчетными параметрами: расходом сточных вод и количеством загрязнений, которые могут быть задержаны и обезврежены на этих очистных сооружениях.

Превышение проектной производительности очистной станции отрицательно сказывается на работе всех сооружений, которые входят в технологическую схему, тем не менее ухудшение работы отдельных сооружений по-разному влияет на конечный эффект очистки, которая обычно определяется концентрацией взвешенных веществ и величиной $BPK_{полн}$ в очищенных сточных водах.

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

Первичные отстойники следует считать наиболее слабым звеном в технологической цепочке практически всех существующих систем биологической очистки сточных вод. Отстойники всех типов резко снижают эффективность осветления сточных вод при расходе, превышающем расчетный.

Повышение концентрации взвешенных веществ в осветленных сточных водах, поступающих в аэротенки или на биологические фильтры, существенно увеличивает нагрузки на них по органическим загрязнениям, которые находятся в грубодисперсной и коллоидной

формах. В случае подачи недостаточно осветленных сточных вод возникает серьезная опасность заиливания загрузки биофильтров.

Если в сточных водах содержится значительное количество жиров и нефтепродуктов, а первичные отстойники работают неудовлетворительно, загрузка биофильтров покрывается жировой и нефтяной пленкой и становится, как правило, непригодной для дальнейшего использования. Повышение концентрации жиров и нефтепродуктов также неблагоприятно сказывается на очистке сточных вод и в аэротенках.

При недостаточном осветлении сточных вод возрастает нагрузка на активный ил, увеличивается количество избыточного активного ила и возрастает его зольность вследствие поступления в аэротенк большого количества грубодисперсных минеральных примесей. В перегруженных аэротенках начинает остро ощущаться недостаток кислорода, поскольку мощности установленных воздуходувок или механических аэраторов оказываются обычно недостаточными для подачи повышенного количества воздуха.

Производительность биологических очистных сооружений может быть выражена и их окислительной мощностью, то есть количеством загрязнений по БПК_{полн}, которые окисляются в этих сооружениях на протяжении суток. Очистные сооружения, пропускающие сточные воды в количестве, не превышающем расчетный расход, могут оказаться перегруженными по количеству загрязнений, которые поступают на них. Положение особенно сильно ухудшается случаях, когда перегрузка по загрязнениям и расходу происходит одновременно.

Таким образом, превышение расчетного расхода сточных вод не только сокращает продолжительность биологической очистки в аэротенках и на биофильтрах, но и увеличивает нагрузку на эти сооружения по загрязнениям.

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

3. Неравномерность поступления сточных вод. Этот фактор отрицательно влияет на работу всего комплекса очистных сооружений и наблюдается наиболее часто на очистных сооружениях небольшой производительности.

Возможны продолжительные перерывы в подаче сточных вод на очистные сооружения от отдельных промышленных предприятий (работа в одну или две смены, выходные дни и т.п.). Резкое уменьшение расхода в ночное время или в праздничные дни приводит к загниванию сточных вод в приемных резервуарах насосных станций и первичных отстойниках, к угнетению и гибели значительной части микроорганизмов, которые населяют биологическую пленку биофильтров, а при очистке сточных вод в аэротенках – к самоокислению активного ила при недостатке питания. Возможны и другие неблагоприятные последствия продолжительных перерывов в подаче сточных вод на очистные сооружения: переохлаждение воды в зимний период, заиливание подводящих каналов, осаждение органических примесей в песколовках и т.п.

В отдельных случаях причиной значительной неравномерности поступления сточных вод может быть подача их на очистные сооружения насосными станциями, которые оборудованы мощными насосами и приемными резервуарами большой емкости, в которых на протяжении относительно продолжительного времени могут накапливаться сточные воды. Периодическая откачка накопленных сточных вод приводит к залповым поступлениям их на очистные сооружения, которые чередуются с продолжительными периодами полного прекращения подачи сточных вод.

Большая неравномерность поступления сточных вод на очистные сооружения наблюдается обычно одновременно с резкими изменениями состава и концентраций загрязнений сточных вод. Залповые поступления токсичных примесей в концентрациях, которые превышают предельно допустимые, могут нарушить их нормальную работу или полностью вывести из строя сооружения для биологической очистки.

4. *Наличие в сточных водах разных токсичных примесей, которые пагубно влияют на биохимические процессы.* Главным средством защиты биологических очистных сооружений от влияния токсичных примесей является их удаление из сточных вод на локальных очистных сооружениях промышленных предприятий. Однако далеко не все действующие предприятия имеют такие сооружения, а строительство их при сформированной системе водоотведения и режимах сброса обычно связано с серьезными трудностями. Это обстоятельство заставляет учитывать возможность появления токсичного действия разных загрязнений практически во всех случаях очистки сточных вод населенных мест.

5. Недостаточное количество в сточных водах биогенных элементов. Это приводит к ухудшению физических и биохимических свойств активного ила и биопленки, тормозит рост микроорганизмов и весь процесс биохимического окисления органического вещества.

Продолжительный недостаток азота, кроме того, приводит к образованию активного ила, который плохо оседает. При недостатке в сточных водах фосфора в составе активного ила начинают преобладать нитчатые формы бактерий, что ухудшает возможность его осаждения, одновременно замедляется рост микроорганизмов и скорость окисления загрязнений.

Необходимое количество биогенных элементов при очистке сточных вод разного состава должно устанавливаться экспериментально. В практических расчетах учитывают обычно известное положение о том, что необходимое минимальное содержание азота может быть 5 г, а фосфора - 1 г на каждые 100 г БПК_{полн}/м³ сточных вод, которые поступают на биологическую очистку [58].

Концентрации биогенных элементов в городских сточных водах обычно достаточны для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенках и биофильтрах. Вместе с тем в сточных водах с большим содержанием производственных сточных вод, которые поступают на биологическую очистку, иногда возможен недостаток биогенных элементов.

6. Конструктивные недостатки и нарушения правил технической эксплуатации очистных сооружений. Неудовлетворительная работа решеток может вызвать нарушение работы песколовок и первичных отстойников из-за выпадение в осадок крупных примесей, которые могут засорить гидроэлеваторы и трубопроводы для транспортирования осадков.

Конструктивные недостатки и нарушения режимов эксплуатации песколовок приводят к повышенному выносу песка и других тяжелых минеральных примесей в первичные отстойники, что затрудняет удаление, транспортирование и последующую обработку осадков.

Главные причины повышенного выноса песка из песколовок, даже при нормативных нагрузках:

- гидравлические возмущения потока воды, вызванные трубопроводами гидроэлеваторов, песочными прямыми, которые размещены по всей длине горизонтальной песколовки, резкими изменениями направления и поперечного сечения каналов на входе и выходе из песколовок;

- несвоевременное и неполное удаление осадка, обусловленное недостаточным наклоном стенок песочных прямков, плохой работой гидроэлеватора вследствие засорения или смещения оси сопла относительно оси диффузора, нарушениями графика удаления осадка;
- неодинаковое распределение расходов сточных вод по участкам песколовки;
- превышение расчетных скоростей движения воды в песколовке вследствие несвоевременного включения в работу резервных участков при увеличении расхода сточных вод.

Недостаточная эффективность работы первичных отстойников во время поступления в них сточных вод с расходом, не превышающим расчетный, может быть вызвана неравномерностью распределения сточных вод по отдельным отстойникам, несовершенным распределением поступающих и сбором осветленных сточных вод в границах каждого отстойника, несвоевременным и неполным удалением осадка и веществ, которые всплыли.

Неравномерность распределения сточных вод по отдельным сооружениям приводит к повышенному выносу взвешенных веществ из перегруженных отстойников, который не может быть компенсирован незначительным улучшением качества осветленной воды в недогруженных отстойниках.

В горизонтальном отстойнике неравномерное распределение сточных вод по его ширине возможно из-за нарушения целостности и горизонтальности водослива распределительного лотка, а также из-за его подтопления со стороны отстойной зоны. Неравномерность распределения водного потока по глубине может быть вызвана недостаточным или неодинаковым по ширине отстойника заглублением погруженной доски, которая устанавливается на входе в отстойник. Аналогичные нарушения в конструкции сборных устройств также могут быть причиной неравномерного распределения водного потока по поперечному сечению отстойника.

В вертикальном отстойнике неравномерность распределения сточных вод по площади может быть связана с отклонением от нормативных размеров раструба центральной трубы и отбивного щита, а также с нарушением их размещения относительно друг друга и стенок отстойника. Важно также, чтобы осветленная вода собиралась равномерно по всей длине сборных лотков.

В радиальных отстойниках нежелательные изменения в гидродинамической структуре движения воды могут возникать при несо-

блюдении горизонтальности водосливной кромки сборного кругового лотка вследствие перекосов кожуха и чрезмерного накопления загрязнений, которые всплывают между стенками кожуха и центральной трубой.

Серьезные осложнения в работе первичных отстойников и сооружений для биологической очистки сточных вод возникают из-за несвоевременного и неполного удаления осадка. Действующие горизонтальные отстойники, в большинстве случаев не оборудованные механическими скребковыми устройствами, имеют недостаточные уклоны дна и стенок иловых прямков. Угол наклона стенок конусов вертикальных и двухъярусных отстойников составляет обычно 30-45°. Самотечное удаление осадка из таких отстойников происходит неполно, а загнивание оставшегося осадка приводит к выделению газов брожения, всплыванию осадка и выносу его из отстойников осветленной водой.

Как отмечалось, самотечное удаление осадка из первичных отстойников усложняется в случае неполного задержания песка в песколовках. Осадок, который содержит большое количество песка, создает плотные отложения на дне отстойников, в иловых прямках и трубопроводах. В иловых прямках горизонтальных и конических частях вертикальных и двухъярусных отстойников такой осадок при сбросе его из отстойников размещается под углом естественного откоса, значительно большим, чем угол наклона стенок, и не удаляется полностью, что сокращает рабочую зону иловой части отстойников. В таких случаях вертикальные отстойники начинают работать с повышенным выносом взвешенных веществ из-за высокого уровня расположения осадка, в двухъярусных отстойниках переполнение осадком иловой части может привести к полной закупорке щелей осадочных желобов, в горизонтальных отстойниках большая часть осадка размещается вне зоны иловых прямков ближе к выходу из отстойника, что сокращает размеры зоны отстаивания, увеличивает скорость движения потока и в результате снижает эффект осветления сточных вод.

К конструктивным недостаткам, которые ухудшают работу аэротенков, нужно отнести в первую очередь некачественное крепление фильтросных пластин в фильтросных каналах, вследствие чего часть пластин отрывается, что резко ухудшает равномерность распределения воздуха по длине аэротенка.

Фильтросные пластины на протяжении сравнительно непродолжительного срока их эксплуатации существенно снижают свою пропускную способность вследствие их зарастания и засорения пылью

и окалиной, которые содержатся в подающемся воздухе, а также активным илом и другими взвешенными веществами, которые проникают в поры фильтросных пластин во время аварийных выключений воздуходувок. Потери напора в фильтросных пластинах возрастают и увеличивают общее сопротивление воздухораспределительной системы, снижая производительность воздуходувок. Неравномерность распределения воздуха по длине и поперечному сечению аэротенка вследствие разной воздухопроницаемости фильтросных пластин, их засорения и разрушения существенно снижают степень использования кислорода, который содержится в подаваемом воздухе. Замена фильтросных пластин дырчатыми трубами или другими диспергаторами при неизменной мощности воздуходувок, которая часто практикуется, как правило, не решает задачи полного обеспечения аэротенков кислородом из-за ухудшения диспергирования воздуха.

Причинами неудовлетворительной работы аэротенков с механической аэрацией чаще всего являются выходы из строя редукторов, подшипников, ведущих звездочек цепных передач, электродвигателей аэраторов. Громоздкость, большая масса используемых аэраторов, конструктивная сложность их отдельных узлов, обмерзание элементов аэротенка и деталей аэратора в зимний период, а также отсутствие в большинстве случаев специального подъемно-транспортного оборудования для демонтажа и замены аэраторов, вышедших из строя, приводят к тому, что их ремонт затягивается на продолжительное время, на протяжении которого процесс очистки сточных вод в аэротенке не обеспечивается необходимым количеством кислорода.

Недостаточная интенсивность перемешивания иловой смеси в зоне неработающих механических аэраторов вызывает выпадение активного ила в осадок в границах этой зоны.

Производительность по кислороду и окислительная возможность поверхностных механических аэраторов как с вертикальной, так и с горизонтальной осью вращения в большой степени зависят от глубины погружения ротора в жидкость, которая аэрируется. В случае значительных колебаний уровня воды в аэротенке вследствие большой неравномерности притока сточных вод степень погружения аэраторов, которые закреплены на постоянной высоте, может не совпадать с оптимальным для данного типа аэраторов. Из-за малого или слишком большого погружения ротора ухудшаются аэрация и перемешивание иловой смеси. Отрицательное влияние колебаний уровня воды на работу механических аэраторов в особенности сильно проявляется в аэротенках-вытеснителях, которые имеют значительно меньшую длину

водосливов на выпусках иловой смеси из аэротенков по сравнению с аэротенками-смесителями с распределенным отводом иловой смеси по длине сооружения.

Существенно влияют на работу аэротенков эффективность разделения иловой смеси во вторичных отстойниках, а также режим циркуляции активного ила. В случае отсутствия механизированных скребков в горизонтальных вторичных отстойниках, а также при недостаточных наклонах стенок иловой части вертикальных отстойников некоторое количество активного ила, который выпал в осадок, не удаляется из отстойников, слеживается и загнивает. Выделяющиеся газы брожения флотируют активный ил, который потом выносятся из отстойника очищенной водой.

Продолжительное пребывание части активного ила в анаэробных условиях, вызванное несовершенной системой удаления его из вторичных отстойников, ухудшает свойства ила и снижает эффект биологической очистки сточных вод. К аналогичному результату может привести недостаточный расход рециркуляционного активного ила, который перекачивается из вторичных отстойников в аэротенки. Низкие коэффициенты рециркуляции активного ила наблюдаются обычно на перегруженных очистных сооружениях, когда при увеличенных расходах сточных вод производительность рециркуляционных насосов остается неизменной.

Работу вторичных отстойников и аэротенков резко ухудшает так называемое вспухание активного ила, из-за которого иловый индекс обычно превышает $150 \text{ см}^3/\text{г}$. Вспухший ил плохо отделяется от очищенной воды и выносятся из вторичных отстойников.

Явление вспухания связывают с развитием в активном иле нитчатых бактерий. Результаты многочисленных исследований показывают, что вспухание ила может происходить по многим причинам, среди которых можно выделить такие:

- недостаток растворенного кислорода в иловой смеси;
- высокие концентрации в сточных водах легкоокисляющихся углеводов;
- недостаток азота и фосфора;
- загнивание сточных вод и, как следствие этого, наличие в них сульфидов и органических кислот;
- низкие значения pH сточных вод;
- резкие изменения нагрузок на ил, что вызывает отклонение от оптимальных нагрузок.

Эффективность работы биологических фильтров может снижаться из-за неравномерного распределения сточных вод по всей площади загрузки, что приводит к созданию в толще загрузки зон с повышенным содержанием органических веществ или с заниженными гидравлическими нагрузками, даже если их значения в целом по биофильтру будут расчетными.

В случае использования спринклеров неравномерное орошение поверхности загрузки обусловлено обычно неудовлетворительной работой дозирующих баков, построенных с отклонениями от проекта или плохо отрегулированными. На биофильтрах, которые продолжительное время находятся в эксплуатации, возможно разрушение спринклеров и подводящих трубок вследствие коррозии или по другой причине.

Неудовлетворительная работа биофильтра может быть вызвана использованием неоднородной загрузки со значительными примесями (свыше 5%) фракций меньшего размера, чем нормированные. В таком биофильтре резко ухудшаются условия фильтрования воды, удаления биопленки и вентиляции загрузки. При использовании не сортового материала может происходить заболачивание поверхности загрузки биофильтра.

Для своевременного удаления из загрузки отработанной биопленки гидравлическая нагрузка не должно быть меньше рекомендованных величин, иначе происходит быстрое заиливание загрузки. К особенно быстрому заиливанию склонны капельные биофильтры. Поэтому рекомендуется довольно тщательное предварительное осветление сточных вод, чтобы концентрации взвешенных веществ в сточных водах, которые подаются на биофильтр, не превышали 100 мг/л. Быстрое заиливание капельных биофильтров происходит при перегрузке их по БПК. Предельная величина $\text{БПК}_{\text{полн}}$ сточных вод, которые поступают на капельный биофильтр, составляет 220 мг/л, поэтому при большем значении $\text{БПК}_{\text{полн}}$ вводится рециркуляция очищенных сточных вод с доведением БПК смеси до нормированной величины. Увеличенное за счет рециркуляции гидравлическая нагрузка обеспечивает удаление из загрузки биофильтра отработанной биопленки.

На работу биофильтров может отрицательно повлиять и превышение нормированных гидравлических нагрузок, поскольку при этом происходят интенсивное вымывание биопленки из толщи загрузки и уменьшение массы микроорганизмов, которые принимают участие в биохимическом процессе.

Кроме перегрузок, причиной неудовлетворительной работы биофильтров могут быть значительные колебания гидравлической на-

грузки, даже если средние ее значения не выходят за нормированные пределы. Неравномерное поступление сточных вод на биофильтр на протяжении суток может привести к тому, что за какой-либо период гидравлическая нагрузка будет недостаточной для своевременного смыва биологической пленки, которая в таком случае постепенно накапливается в загрузке. В сравнительно толстых пластах биопленки развиваются анаэробные процессы. Газы брожения, которые выделяются вследствие этого, оказывают содействие отрыванию биопленки от материала загрузки. При этом вместе с биопленкой из биофильтра выносятся значительная часть неокисленных органических веществ.

Отрывание биопленки вследствие развивающихся анаэробных процессов происходит неравномерно в объеме загрузки, что приводит к заиливанию отдельных ее участков, ухудшению аэрации загрузки и снижению окислительной мощности. Вынос из биофильтра неотработанной биопленки является причиной плохого осветления очищенных сточных вод во вторичных отстойниках, поскольку такая биопленка плохо оседает, чаще всего гнивает и выносятся из отстойников.

К главным причинам нарушения нормальной работы очистной станции следует отнести также перерывы в энергоснабжении, несоблюдение сроков планово-предупредительного (текущего и капитального) ремонта сооружений и оборудования, нарушения обслуживающим персоналом правил технической эксплуатации сооружений.

Из-за перерывов в электроснабжении прекращается подача в аэротенки воздуха и рециркуляционного ила, нарушается весь ход технологического процесса. Осаждение активного ила на дно аэротенков и продолжительное пребывание его в анаэробных условиях приводит к тому, что после возобновления электроснабжения требуется определенное время, иногда довольно продолжительное, для введения аэротенков в нормальный режим работы.

Отключения рециркуляционных насосов на очистных станциях с биофильтрами может привести к заиливанию фильтрующей загрузки. Перерыв в подаче электроэнергии нарушает также режим эксплуатации песколовков и первичных отстойников, оборудованных скребковыми механизмами и насосами для удаления осадка.

Таким образом, общее состояние и эффективность работы очистных сооружений решающим образом зависят от организации их обслуживания.

7. *Неудовлетворительная работа или отсутствие полного комплекса сооружений для обработки песка, сырого осадка и избыточного активного ила или биопленки.* Из-за неэффективной работы

сооружений для обработки осадков на многих станциях возникают такие ситуации, в силу которых эксплуатационный персонал вынужден идти на серьезные нарушения технологических режимов очистки сточных вод.

Часто, в случаях неудовлетворительной работы песковых площадок, реже удаляют осадок из песколовков, что приводит к выносу песка в первичные отстойники. Затруднения с обработкой сырого осадка также заставляют увеличивать период его накопления в первичных отстойниках, что приводит к повышенному выносу взвешенных веществ осветленной водой и загниванию осадка. Неудовлетворительная работа илоуплотнителей вызывает нарушения в работе метантенков или аэробных стабилизаторов и, в дальнейшем, перегрузку иловых площадок, а при наличии сооружений механического обезвреживания сброженных или аэробно стабилизированных осадков к нарушению технологического режима их работы. Отсутствие на очистных сооружениях надежной технологии обработки изъятых песка представляет экологически опасной потому, что на станциях накапливается большое количество песчаной массы с большим содержанием органических загрязнений.

Контрольные вопросы

1. Основные причины недостаточного уровня очистки на действующих очистных сооружениях?
2. Каковы последствия превышения проектной производительности для сооружений очистной станции?
3. К чему может привести неравномерность поступления на очистную станцию сточных вод?
4. Откуда в городских сточных водах могут появиться токсические примеси? Основное средство защиты биологических очистных сооружений от влияния указанных примесей?
5. Причины повышенного выноса песка из песколовков?
6. Чем может быть вызвана недостаточная эффективность работы первичных отстойников?
7. Причины неудовлетворительной работы аэротенков?
8. Чем может быть вызван недостаточный эффект очистки сточных вод на биофильтрах?
9. Чем чреваты для очистной станции перерывы в энергоснабжении?

5.2. ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

При выявлении недостаточной эффективности работы очистных сооружений необходимо найти обуславливающие причины. Для этого необходимо провести тщательный и всесторонний анализ работы всех звеньев технологической схемы, а также возможностей по повышению эффективности работы действующих сооружений, или реализации новых технологических процессов в них без строительства новых. На основе такого анализа принимается решение по осуществлению конкретных мероприятий интенсификации и реконструкции действующих очистных сооружений.

Квалифицированное обследование действующих очистных сооружений, которые подлежат реконструкции или расширению, может осуществляться рабочей группой в составе проектировщиков, эксплуатационным персоналом очистных сооружений, и, при необходимости, работников научно-исследовательских и пусконаладочных организаций. На базе этого обследования может быть разработана и согласована технологическая схема очистки сточных вод, которая будет служить составной частью задания на разработку проекта реконструкции сооружений.

Для воспроизведения реальной картины работы действующих очистных сооружений необходимо в первую очередь установить:

- действительные расходы сточных вод;
- режим их поступления;
- состав и концентрации загрязнений.

Для получения действительной картины гидравлического режима работы станции необходимо осуществить замер расходов сточных вод на всех этапах их протекания через сооружения станции: на входе, до и после одноименной группы сооружений, а в ряде случаев и распределение расходов между отдельными сооружениями. При этом используются существующие измерительные приборы, применяются известные способы измерения расходов сточных вод, или устанавливаются дополнительные специальные водомерные устройства. По результатам замеров строятся суточные графики поступления сточных вод на очистные сооружения и отдельные блоки для характерных периодов работы станции. Целесообразно иметь такие графики в течение года. По этим графикам определяются расчетные расходы и коэффициенты неравномерности.

Состав и концентрации загрязнений определяют для оценки работы, как всего комплекса, так и отдельных очистных сооружений. Для такой оценки необходимо знать действительные концентрации загрязнений в характерных точках (до и после сооружений) по БПК, ХПК, концентрации взвешенных веществ, специфических загрязнений, биогенных элементов, pH и др. Максимальные, минимальные и средние концентрации загрязнений, а также их колебания в течение суток, берутся за основу для оценки целесообразности использования и расчета усреднителей сточных вод.

Эффективность работы каждого сооружения очистной станции может быть оценена по результатам технологического контроля их работы.

В случае низкого эффекта осветления сточных вод в первичных отстойниках, целесообразно определить возможную границу осветления сточных вод отстаиванием, то есть количество веществ, которые оседают (на протяжении двухчасового отстаивания), выраженное в процентах от общего количества взвешенных веществ. Для определения количества веществ, которые оседают, и изучения кинетики их осаждения разработана специальная методика технологического моделирования процесса отстаивания в сосуде диаметром не менее 100 мм и с высотой зоны отстаивания не менее 500 мм [58].

При проведении анализа действующих аэротенков необходимо определить технологические параметры их работы, главные из которых:

- нагрузка по активному илу;
- объемная нагрузка;
- окислительная мощность;
- концентрация активного ила;
- иловый индекс;
- расходы воздуха на 1 кг извлеченного БПК.

Нагрузка по активному илу представляет собой массу загрязнений, которая подается за сутки и учитывается величинами БПК₅ или БПК_{полн} на 1 г сухого или беззольного вещества, г БПК/(г · сут):

$$R = \frac{L_a \cdot Q}{a \cdot W}$$

где L_a – БПК сточной воды, которая поступает в аэротенк, г/м³;
 Q – суточный расход сточных вод, м³/сут;
 a – концентрация активного ила, г/м³;

W – реакционный объем аэротенка, м³.

Объемная нагрузка вычисляется в килограммах БПК₅ или БПК_{полн}, которое приходится за сутки на 1 м³ реакционного объема аэротенка.

Окислительная мощность (ОМ) определяется массой удаленных на протяжении суток загрязнений, которые учитываются величинами БПК₅ или БПК_{полн}, отнесенными к 1 м³ реакционного объема аэротенка, кг БПК/м³·сут:

$$OM = \frac{(L_a - L_t) \cdot Q}{W},$$

где L_a и L_t – БПК соответственно неочищенных и очищенных сточных вод, кг/м³.

При определении указанных технологических параметров за расчетные величины БПК₅ и БПК_{полн} неочищенных и очищенных сточных вод надо брать их средневзвешенные значения, вычисленные по результатам анализов взболтанных проб, отобранных на протяжении суток соответственно после первичных и вторичных отстойников.

Для аэротенков с отдельно расположенными или встроенными вторичными отстойниками реакционный объем определяется как сумма объемов аэротенка, иловой части вторичных отстойников и рабочего объема резервуаров иловых насосных станций. При этом, определяя суммарную массу активного ила, которая принимает участие в биохимическом процессе, необходимо учитывать отличия концентраций активного ила собственно в аэротенке и в регенераторе, иловой части вторичных отстойников, иловых резервуарах.

Расход воздуха, который подается в аэротенки воздуходувками, определяется по показателям установленных расходомеров или, в крайнем случае, по паспортным данным работающих воздуходувок.

Сравнение полученных технологических параметров с теми, что характеризуют нормальную работу аэротенков в аналогичных условиях (табл.5.1) и комплексная оценка этих параметров позволяют правильно оценить ситуацию и наметить возможные пути интенсификации процесса биологической очистки.

Таблица 5.1. Оптимальные технологические параметры работы аэротенков [59].

Технологический параметр	Аэротенк		
	Высоко-нагруженный (на неполную очистку)	Средне-нагруженный (на полную очистку)	Низко-нагруженный (удлиненной аэрации)
Нагрузка по активному илу, г БПК ₅ /(г · сут.)	1 – 2	0,2 – 0,5	0,05 – 0,15
Объемная нагрузка, кг БПК ₅ /(м ³ · сут.)	1 – 6	0,2 – 1	0,1 – 0,5
Окислительная мощность кг БПК ₅ /(м ³ · сут)	0,6 – 5	0,18 – 0,95	0,09 – 0,45
Концентрация активного ила, кг/м ³	1 – 5	1,5 – 3	3 – 4
Расход воздуха (при пузырьковой аэрации), м ³ /кг БПК ₅	30 – 50	40 – 60	100 – 150
Иловый индекс, см ³ /г	80 – 100	50 – 120	40 – 80

Примечание: Нагрузка по активному илу указана в расчете на 1 г беззольного вещества.

Главными характеристиками биологических фильтров являются гидравлическая нагрузка и нагрузка по загрязнениям.

Гидравлическая нагрузка выражается количеством воды (м³), которая приходится на 1 м² площади биофильтра за сутки. Нагрузка по загрязнениям - количество загрязнений, оцениваемое величиной БПК, которая подается на 1 м³ объема загрузки за сутки. Допустимые границы колебаний нагрузок биофильтров разных типов приведены в табл.5.2.

Таблица 5.2. Оптимальные нагрузки биологических фильтров [59].

Биофильтр	Высота загрузки, м	Нагрузка	
		Гидравлическая, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	По загрязнению, г БПК _{повн} /($\text{м}^3 \cdot \text{сут}$)
Капельный	2	1 – 3	100 – 300
Высоконагружаемый	4	10 – 30	500 – 1500
С пластмассовой загрузкой	4	30 – 45	1600 – 2200

Определив действительные нагрузки на работающий биофильтр, можно составить заключение о степени его перегрузки и возможных причинах недостаточной эффективности его работы.

Анализ работы сооружений для обработки осадков следует начинать с определения расчетных расходов осадков, которые удаляются из песколовков и первичных отстойников, избыточного активного ила или биопленки, осадков, образующихся при доочистке сточных вод. Сравнение фактических и нормативных параметров работы сооружений позволит оценить степень их перегрузки. При явном превышении нормативных нагрузок, задачи реконструкции сооружений решаются легче, чем в случаях, когда неудовлетворительная их работа обусловлена другими причинами. В таких случаях особое внимание следует обратить на те технологические параметры, которые могут оказывать решающее влияние на работу данного сооружения.

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

На эффективность работы илоуплотнителей значительно влияют иловый индекс и концентрация ила [60], поэтому задачу улучшения работы илоуплотнителей следует решать одновременно с улучшением работы аэротенков и вторичных отстойников.

Основными технологическими параметрами процесса анаэробного сбраживания, на которые следует обращать внимание при анализе

работы метантенков, являются температура, продолжительность пребывания осадка в метантенке, нагрузка по органическому (сухому беззольному) веществу, концентрация загруженного осадка, режим загрузки и перемешивания содержимого метантенка, степень распада органического вещества, удельное сопротивление осадка фильтрации, количество образующегося газа (м^3 на 1 кг сухого беззольного вещества), состав газа, активная реакция иловой воды (рН и щелочность), концентрация в ней летучих жирных кислот и аммонийного азота, наличие и концентрация в осадках токсичных компонентов. Сравнение фактических параметров с теми, которые характеризуют нормально протекающий процесс [61, 62, 63, 64], разрешит сделать соответствующие выводы о возможных причинах нарушения процесса сбраживания.

Эффективность работы аэробных стабилизаторов могут характеризовать степень распада органического вещества, зольность вещества осадка, дегидрогеназная активность, скорость потребления кислорода стабилизированным осадком, удельное сопротивление осадков фильтрации и т.п. [60, 65, 66, 67].

Важнейшими характеристиками осадков, которые подаются на иловые площадки, являются степень сбраживания и удельное сопротивление фильтрации. Последний показатель определяется в лабораторных условиях на специальной установке [64, 67]. Эффективность работы иловых площадок зависит не только от качества предварительной подготовки осадка, но и от конструкции и состояния дренажной системы, на что следует обратить серьезное внимание при обследовании площадок.

Учет как можно большего количества факторов, которые могут влиять на работу очистных сооружений, анализ этих факторов, а также технологических параметров процесса очистки сточных вод и обработки осадков на разных этапах дают возможность обнаружить действительные причины низкой эффективности работы сооружений и выбрать наиболее рациональные пути интенсификации работы всего комплекса очистной станции.

Контрольные вопросы

1. Последовательность определения реальной картины работы действующих очистных сооружений?
2. Какие основные параметры необходимо установить при анализе действующих аэротенков?

3. В чем заключается оценка работы аэротенков?
4. Какова последовательность оценки работоспособности биофильтров?
5. На что необходимо обратить внимание при обследовании песковых площадок?
6. В чем заключается анализ работы метантенков?
7. От чего зависит эффективность работы иловых площадок?

6. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

6.1. УСРЕДНЕНИЕ

После детального обследования работы существующих очистных сооружений составляется проект реконструкции и разрабатываются технологические схемы очистки, направленные на минимальное строительство новых сооружений. Изучая график поступления сточных вод на станцию, анализируется возможность уменьшения максимального часового расхода за счет устройства аккумулирующей емкости для усреднения поступающих сточных вод.

Усреднение потоков сточных вод позволяет уменьшить объемы проектируемых очистных сооружений, размеры которых определяются обычно по максимальным часовым расчетным расходам. Строительство усреднителей дает возможность улучшить условия работы действующих очистных сооружений, увеличить их производительность и эффект очистки. Конструкция усреднителя потоков сточных вод будет зависеть от места его расположения: либо перед всем комплексом сооружений механической очистки либо после песколовок.

В случае устройства усреднителя расходов перед решетками и пескололками, когда отсутствует возможность расширения последних, надо учесть, что сырые сточные воды имеют значительное количество взвешенных и плавающих веществ, а также песка. Поэтому конструкция таких усреднителей должна обеспечивать невозможность образование осадка и иметь устройство для отвода плавающих веществ.

Расчет емкости усреднителя расходов ведется методом последовательных приближений по формулам, приведенным в [58]. Число секций усреднителя принимается не менее двух, причем обе рабочие.

При резком колебании концентраций загрязнений сточных вод, а также при залповом поступлении на очистные сооружения высококонцентрированных сточных вод, возникает необходимость их усред-

нения по концентрации, или разбавления очищенными сточными водами до концентраций, которые не будут ухудшать на работу сооружений биохимической очистки.

В случае размещения усреднителя перед очистными сооружениями подача в него очищенных сточных вод увеличивает нагрузку на решетки, песколовки, первичные отстойники, тем не менее, такой технологический прием в ряде случаев может оказаться целесообразным.

Разведение сточных вод и изменение их свойств в положительную (с точки зрения биологической очистки) сторону может быть достигнуто подачей в усреднитель избыточного активного ила или биопленки, растворов биогенных элементов, иловой воды, получаемой при уплотнении и обезвоживании осадков и т.п. Возможно, что степень разведения сточных вод при этом окажется не настолько значительной, как при рециркуляции очищенных сточных вод, тем не менее, например, подача в аэрированный усреднитель избыточного активного ила может улучшить дальнейшее осветление воды, снизить в определенной степени БПК сточных вод и концентрации токсичных примесей за счет сорбции их хлопьями активного ила.

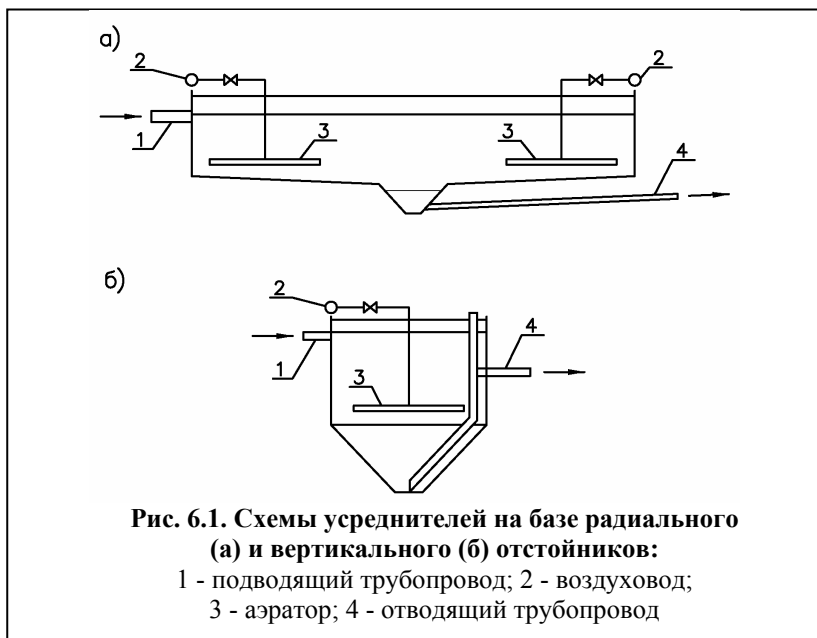
Подача в усреднитель иловой воды, которая получается при обезвоживании сброженных осадков, может повысить рН сточных вод за счет ее большой щелочности. Одновременно будет обеспечено более равномерное, чем при традиционном сбросе в "голову сооружений", поступление на очистные сооружения загрязнений, которые содержатся в иловой воде.

При расположении усреднителя после решеток и песколовок целесообразно совместить процессы усреднения и первичного отстаивания сточных вод в одном комбинированном сооружении – усреднителе-отстойнике, который позволит улучшить первичное осветление сточных вод за счет более продолжительного отстаивания, сократить суммарный объем сооружений, а также отказаться от устройств для предотвращения образования осадка в усреднителях.

Наряду с известной конструкцией радиального усреднителя-отстойника, разработанного во ВНИИ ВОДГЕО [59] могут использоваться и другие типы комбинированных сооружений, которые обеспечивают соответствующие гидродинамические условия для осаждения грубодисперсных примесей и позволяют эффективно удалять осадок с помощью скребковых механизмов и других устройств.

В тех случаях, когда образование осадка в усреднителе нежелательно, конструкция его должна обеспечивать автоматическое удаление осадка потоком воды, которая вытекает из усреднителя. При срав-

нительно небольших затратах сточных вод в качестве усреднителей могут использоваться сооружения, близкие по конструкции к вертикальным или радиальным отстойникам, с отбором воды из зоны возможного накопления осадка (рис. 6.1). Такие усреднители могут работать как с постоянным, так и с переменным уровнем жидкости. В последнем случае отводной трубопровод размещается на отметке, которая обеспечивает нормальную работу усреднителя при заданном изменении уровней воды.



В усреднителях всех типов происходит всплывание масел, жиров и других веществ с плотностью меньшей, чем плотность воды, поэтому конструкции усреднителей должны обеспечивать возможность удаления таких загрязнений через специальные отводные лотки или другим способом.

Контрольные вопросы

1. С какой целью используют усреднение?
2. В каком месте очистной станции устанавливают усреднитель?

3. Какие конструкции усреднителей используют?

6.2. РЕШЕТКИ И ПЕСКОЛОВКИ

Улучшить работу решеток можно путем замены устаревшего типа решеток новым более совершенным типом и строгим соблюдении технологического режима их эксплуатации (своевременная очистка от загрязнений, регулирование нагрузок на отдельные решетки и т.п.).

При реконструкции отделения решеток с установкой более производительных агрегатов можно свести к минимуму работы по реконструкции. В этом случае может быть достаточным расширение каналов до и после решеток. Когда это невозможно – устраивают дополнительный канал с решеткой.

Для задержания на решетках большого количества крупных частиц загрязнений, в последнее время на городских очистных станциях устанавливают решетки с меньшими прозорами – 5–6 мм. Тем самым уменьшается нагрузка на первичные отстойники и сырой осадок лучше и полнее сбраживается. Среди примесей, задержанных на решетках с меньшими прозорами, или на процеживателях, большой процент составляют вещества органического происхождения, которые способные к гниению. Поэтому целесообразно выделить из задержанной массы вещества органического происхождения, пропустить их через дробилки и направить в канал перед решетками. Таким образом, в сточные воды будет возвращено определенное количество субстрата, который принимает участие в процессе биохимической очистки. В особенности это необходимо, когда на аэрационных сооружениях ощущается недостаток органики для жизнедеятельности активного ила.

Применение усовершенствованных и модернизированных решеток, сит и процеживателей, которые позволяют изымать грубодисперсные примеси размерами фракций от 100 до 5 мм, повышает эффект очистки до 70-90%. Применение шнековых прессов для уплотнения и снижения влажности изъятых грубодисперсных примесей до 60-69% позволит уменьшить их объем в 2,5–3 раза.

По данным разных авторов известно, что из всего количества песка, который содержится в сточных водах, в песколовках осаждается лишь 60-70%. Основное количество песка, который транзитом проходит в первичные отстойники или сооружения биологической очистки, приходится на мелкие фракции – меньше 0,25мм. Фракционный состав песка, который содержится в сточных водах, приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Фракционный состав песка, содержащегося в сточных водах

Диаметр частиц песка, мм	>1	0,5...1	0,25...0,5	<0,25
Состав песка в % (по весу)	5,4	11,8	34,4	48,4

Повышение эффекта задержания песка может быть достигнуто стабилизацией скорости потока в горизонтальных песколовках с помощью специальных водосливов, а также за счет улучшения работы скребковых механизмов для удаления осадка и осуществления других конструктивных и технологических мероприятий. Так, в горизонтальных песколовках для обеспечения прямолинейности движения потока устанавливают продольные перегородки. Для интенсификации работы аэрируемой песколовки предлагается разделить ее рабочую зону вертикальными перегородками на ряд последовательно соединенных камер (рис.6.2).

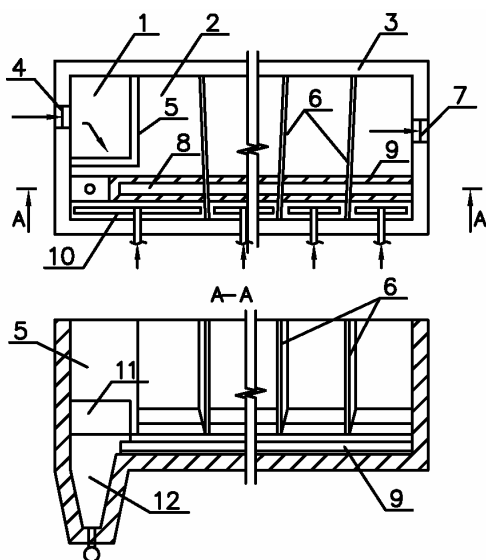


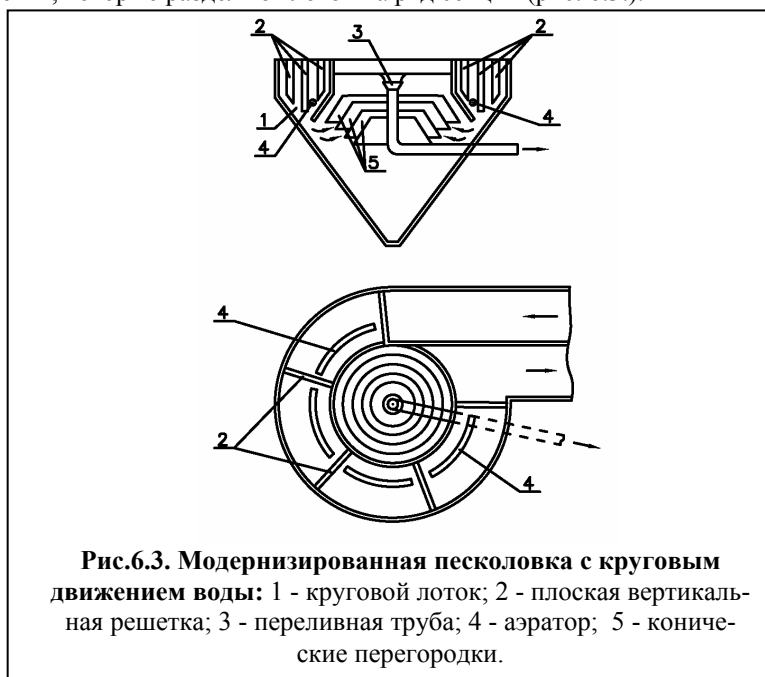
Рис.6.2. Аэрируемая песколовка с поперечными перегородками:

1 - входная камера; 2 - рабочая зона; 3 - стенка пескоструйки; 4 - входной затвор; 5 - поперечная перегородка; 6 - перегородка; 7 - выходной затвор; 8 - смывной трубопровод; 9 - песковой лоток; 10 - аэратор; 11 - окно входной камеры; 12 - песковой приямок.

Перегородки могут быть или сплошными, не доходящими до дна резервуара на 0,2-0,3 его глубины и к продольной стенке с аэраторами 0,25-0,3 его ширины, или в виде плоских решеток, которые устанавливаются на всю глубину и ширину рабочей зоны. При этом первая перегородка по ходу движения воды размещена под острым углом к продольной стенке с аэраторами, а другая – к противоположной. Каждая камера имеет свой самостоятельный аэратор, а интенсивность аэрации потока уменьшается от начальной камеры к конечной.

Такая конструкция аэрированной песколовки позволяет на 15-30% повысить эффективность задержания песка.

Повысить эффект задержания песка в горизонтальной песколовке с круговым движением воды и существенно увеличить ее производительность можно путем использования таких приемов. В круговом лотке, кроме аэраторов, устанавливаются и плоские вертикальные решетки, которые разделяют лоток на ряд секций (рис. 6.3.).



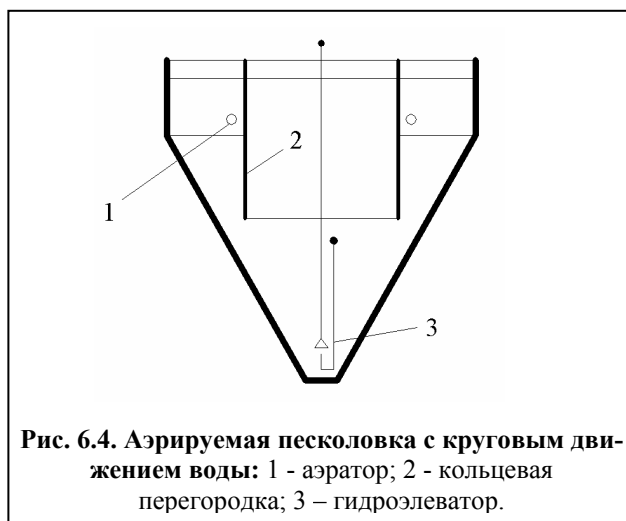
Каждая секция имеет свой аэратор, а отношение длины секций к длине кругового лотка составляет (0,2...0,5):1. Одновременно с этим для задержания песка предлагается полезно использовать объем цен-

тральной части песколовки. Для этого в центре песколовки устанавливается вертикальная телескопическая соответствующая труба, погруженная под уровень жидкости на глубину, достаточную для образования вихревой водной воронки. В центральной зоне песколовки дополнительно могут быть установлены конические перегородки, которые обеспечивают максимальное полезное использование рабочего объема зоны отстаивания. В переоборудованной песколовке часть сточных вод освобождается от песка в круговом лотке, который стал аэрированной песколовкой.

Остальная же часть сточных вод через щели в круговом лотке поступает в центральную часть песколовки, где с помощью вихревой воронки и конических перегородок приобретает поступательно-вращательное движение, которое обеспечивает эффективное отделение песка.

Рекомендованная конструкция песколовки обеспечивает надежное задержание песка крупностью 0,15 мм и больше. При этом значительно увеличивается зольность осадка благодаря интенсивной отмывки его от органических загрязнений [59].

Кроме широко известных конструкций аэрированных песколовок в виде горизонтальных резервуаров прямоугольной формы, довольно перспективным может быть использование аэрированной песколовки с круговым движением воды, конструкция которой изображена на рис. 6.4.



Модернизация песколовки за счет оснащения усовершенствованными системами аэрации, равномерного поступления и распределения сточных вод, а также сбора и удаления песка, обеспечит эффективность его задержания от 30 до 70% за счет изъятия фракций меньше 0,15мм.

Собранный в песколовках песок в существующих технологических схемах направляется на обезвоживание или в песковые бункера, или на песковые площадки. Даже с аэрированных песколовкок удаленный песок имеет много органических веществ, которые налипли на поверхность песчинок и очень опасны в санитарном отношении. Поэтому подсушенный песок очень опасно утилизировать. В настоящее время для станций большой мощности возникает необходимость специальной обработки песчаной массы перед ее утилизацией. Московский государственный строительный университет [68,69] предложил следующую технологическую схему обработки песка на очистных сооружениях системы водоотведения (рис. 6.5).

По этой схеме осадок, который образовался в песколовках, промывается восходящим потоком воды. Далее происходит разделение песка и органических включений на барабанном сетчатом сепараторе с одновременным промыванием осадка водой.

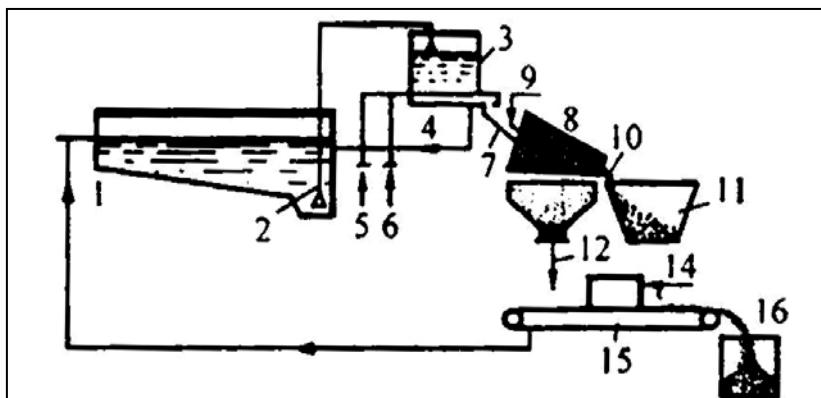


Рис. 6.5. Схема узла по обработке осадка из песколовкок:
 1 – песколовка; 2 – гидроэлеватор; 3 – пескопромывающее устройство; 4 – возврат воды; 5 – промывная вода; 6 – воздух; 7 – осадок в барабанный сепаратор; 8 – барабанный сепаратор; 9 – промывная вода; 10 – органика из сепаратора; 11 – бункер для органики; 12 – песок; 13 – фильтрат; 14 – пропарочная камера для дезинфекции; 15 – ленточный вакуум-фильтр; 16 – обезвоженный песок.

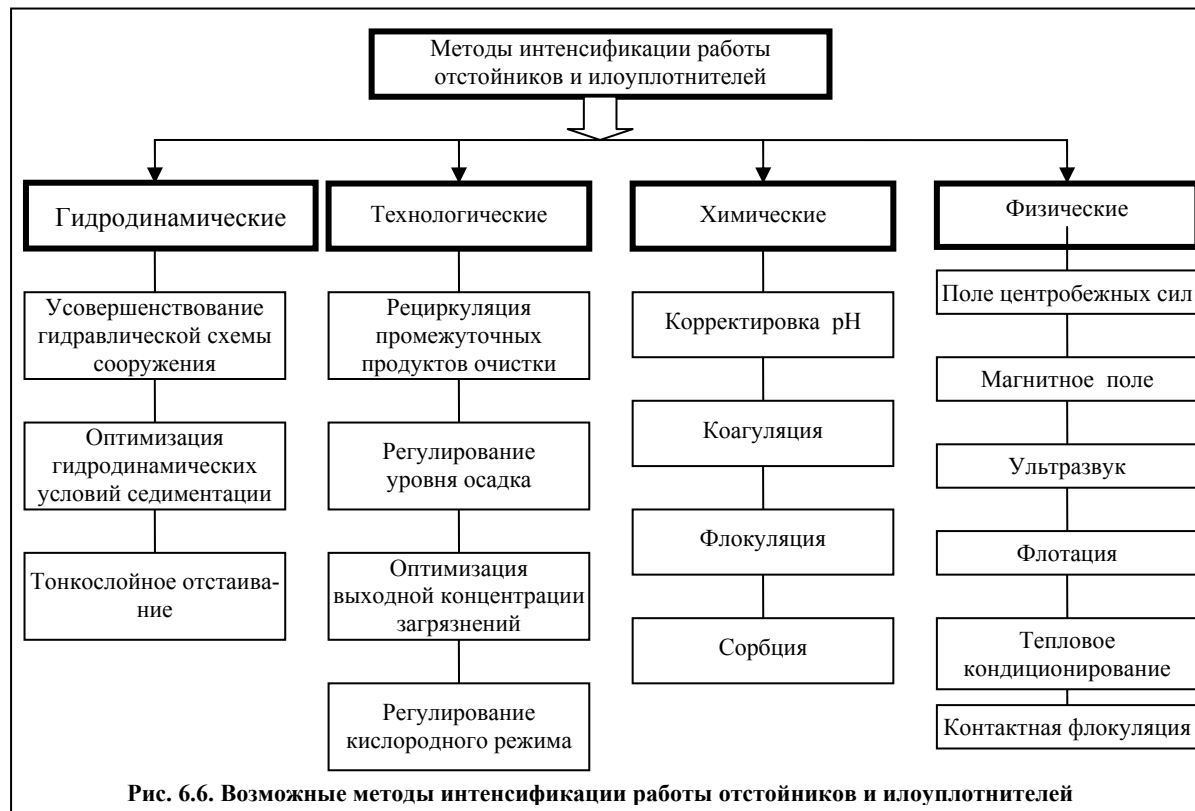
Контрольные вопросы

1. Какие существуют пути улучшения работы решеток?
2. Как увеличить пропускную способность песколовок?
3. Как модернизировать песколовки с круговым движением воды?
4. Какие технологические схемы можно предложить для обезвреживания и утилизации задержанного в песколовках песка?

6.3. ПЕРВИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

В первичных отстойниках обычно задерживается 40-50% взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах. Вместе с тем при экономном режиме водопотребления, который характеризуется начальной концентрацией взвешенных веществ 300 – 400 мг/л, необходимый эффект первичного осветления может достигать 70–75%. При меньшей эффективности отстаивания неминуем повышенный прирост избыточного активного ила, который имеет больший фактический объем и меньшую влаготдачу при последующем обезвоживании. Ситуация усложняется за счет того, что в условиях формирования многокомпонентных городских сточных вод очень часто образуется тонкодисперсная взвесь, в которой содержание веществ, способных к оседанию, не превышает 30-50%. Для интенсификации процессов отстаивания и уплотнения образующихся осадков применяются разные методы (рис. 6.6).

Пропускная способность первичных отстойников зависит от их конструкции, которая соответствует коэффициенту объемного использования проточной части K_{set} . Величина этого коэффициента изменяется от 0,35 до 0,85 для разных конструкций отстойников. От этой величины зависит также и расчетная величина гидравлической крупности u_0 . Таким образом, повышение пропускной способности отстойника при одном и том же эффекте отстаивания может быть обеспечено усовершенствованием конструкции последнего.



Возможности существенных изменений в конструкции действующих отстойников очень ограничены и сводятся обычно к восстановлению проектных положений и размеров водораспределительных и водосборных устройств, скребковых механизмов, илоотводных труб и т.п. В отстойниках старых типов часто становится необходимым увеличить (не менее чем на 50°) угол наклона стенок иловых приемков, что существенно улучшает условия удаления осадка и работу отстойников в целом. Горизонтальные отстойники, которые не имеют скребковых механизмов, по возможности, должны быть оборудованы ими.

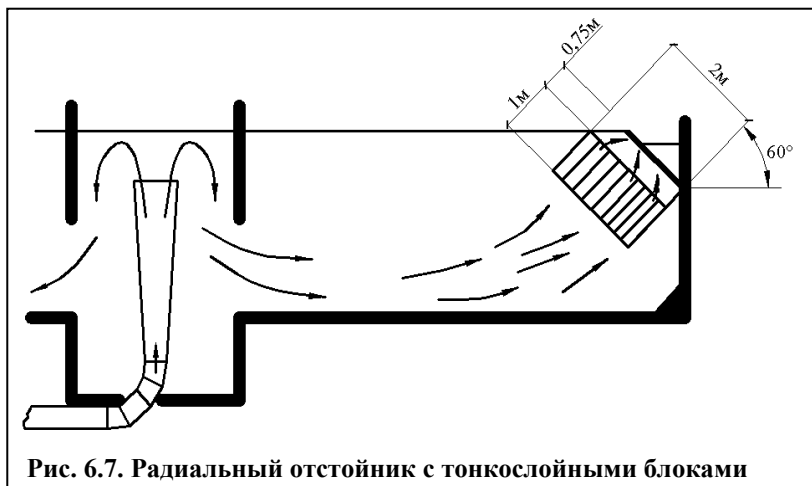


Рис. 6.7. Радиальный отстойник с тонкослойными блоками

Эффективным средством улучшения первичного осветления сточных вод может быть оборудование отстойников трубчатыми или полочными блоками, которые обеспечивают работу отстойников в режиме тонкослойного отстаивания. Такими блоками, изготовленными чаще всего из пластмасс, могут быть оборудованные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники[61; 72; 73]. Расчетные параметры тонкослойных отстойников должны определяться в зависимости от характера обрабатываемых сточных вод и заданного эффекта осветления. Пример оборудования первичного радиального отстойника тонкослойными блоками приведен на рис. 6.7.

При решении задач интенсификации первичного отстаивания сточных вод необходимо, прежде всего, оценить способность к осаждению взвешенных веществ, которые в них содержатся. С этой целью целесообразно построить кривые, которые характеризуют кинетику осаждения взвешенных веществ при осветлении сточных вод в состоя-

нии покоя. Наличие таких кривых дает возможность расчетным путем определить ожидаемый эффект осветления сточных вод в реальных отстойниках, в том числе и с полочными или трубчатыми элементами.

Для повышения эффективности первичного отстаивания приобрела распространение предварительная аэрация сточных вод, чем достигается флокуляция тонкодисперсных примесей и увеличение скорости их осаждения.

Вместе с этим происходит некоторое снижение БПК сточных вод, улучшается отделение жиров, масел, нефтепродуктов, создаются условия, которые препятствуют развитию анаэробных процессов в сточных водах.

Предварительная аэрация сточных вод осуществляется в каналах, которые подводят сточные воды к первичным отстойникам, или специальных сооружениях – преаэраторах, размещенных перед отстойниками. Продолжительность аэрации при этом составляет 10–20 мин, а расход воздуха – около $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 аэрированных сточных вод. Предварительная аэрация сточных вод благоприятно сказывается не только на работе первичных отстойников, но и улучшает биологическую очистку сточных вод в аэротенках и биофильтрах. Вместе с тем предварительная аэрация не может существенно повысить эффект первичного осветления сточных вод, а в некоторых случаях она вообще не влияет на работу первичных отстойников.

Значительно лучшие результаты дает объединение предварительной аэрации сточных вод с биокоагуляцией загрязнений избыточным активным илом или биопленкой. Высокая сорбционная способность активного ила относительно веществ разной природы обеспечивает при биокоагуляции удаление из сточных вод части органических примесей, ионов тяжелых металлов, ПАВ и других загрязнений.

Хотя сорбционные и коагуляционные свойства активного ила достаточно высокие, следует отметить, что во многих случаях введение избыточного активного ила в сточные воды увеличивает вынос взвешенных веществ из первичных отстойников, ухудшает способность к уплотнению осадка, приводит к существенному увеличению общего объема осадков, которые подлежат обработке. Поэтому биокоагуляцию нельзя считать универсальным и широко рекомендованным средством интенсификации первичного отстаивания сточных вод. В подавляющем большинстве случаев за счет биокоагуляции загрязнений избыточным активным илом невозможно улучшить работу перегруженных отстойников, поскольку биокоагуляция не сокращает необходимой продолжительности отстаивания сточных вод (1,5...2 ч) [59].

Для осуществления предварительной аэрации с активным илом возникает необходимость сооружения специального сооружения – преаэратора. Число секций преаэратора должно быть не менее двух – обе рабочие. Время аэрации смеси сточных вод с избыточным активным илом принимается равным 20 минут. Исходя из этого, определяется емкость сооружения. В преаэратор следует подавать ил после регенерации. Его количество принимается равным 50-100% избыточного. Если в схеме станции отсутствуют регенераторы, то предполагается возможность регенерации в преаэраторах, для чего выделяется объем, который равняется 0,25–0,3 их общего объема. Увеличение эффективности осветления в первичных отстойниках (по БПК и взвешенным веществам) составляет 20-25%. Следует добавить, что укрупненные во время преаэрации частички взвеси могут разрушаться во время движения сточных вод к отстойнику.

Исходя из вышесказанного, окончательное решение об устройстве предварительной аэрации с активным илом принимается на основе технико-экономических расчетов.

Использование сооружения, в котором объединяются процессы преаэрации и отстаивания позволяет устранить некоторые недостатки преаэрации в отдельном сооружении (например, сводится к минимуму разрушение образованных в процессе преаэрации хлопьев при переходе к отстаиванию). Такое сооружение имеет название биофлокулятор. Он представляет собой первичный отстойник (вертикальный или радиальный) со встроенной камерой биофлокуляции.

В биофлокуляторе вертикального типа (рис. 6.8) камера биофлокуляции образована вокруг центральной трубы двумя кольцевыми перегородками. Вследствие подачи воздуха в фильтросный аэратор возникает эрлифтный эффект, благодаря которому сточные воды вместе с избыточным активным илом или биопленкой поднимаются в верхнюю часть камеры, а потом опускаются вниз по кольцевому пространству между перегородками и попадают в зону отстаивания. Гидравлическая нагрузка на зону отстаивания биофлокуляторов не должна превышать $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Продолжительность аэрации сточных вод в камере биофлокуляции составляет 20 мин, а удельный расход воздуха на аэрацию – $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 сточных вод. При использовании в биофлокуляторах активного ила снижение взвешенных веществ достигает 75%, БПК_{полн} при этом уменьшается на 35%. В биофлокуляторах, работающих с биопленкой эффективность задержания взвешенных веществ составляет 60-70%, а снижения БПК_{полн} – 50-55%.

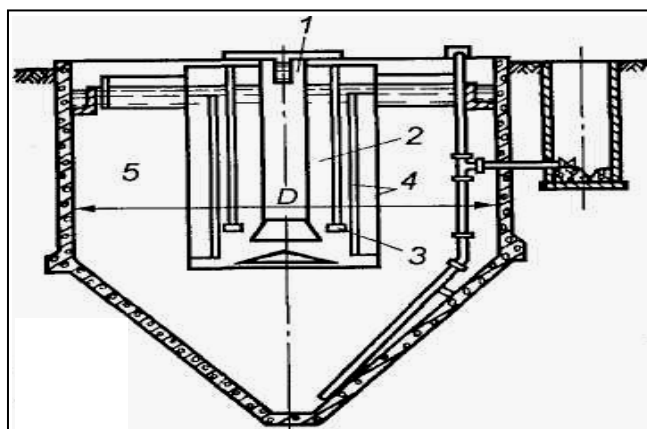


Рис.6.8. Биофлокулятор вертикального типа: 1 – центральная труба; 2 – камера биофлокуляции; 3 – фильтры; 4 – кольцевые перегородки; 5 – зона освещения.

На рис. 6.9 изображена схема радиального отстойника со встроенной камерой флокуляции.

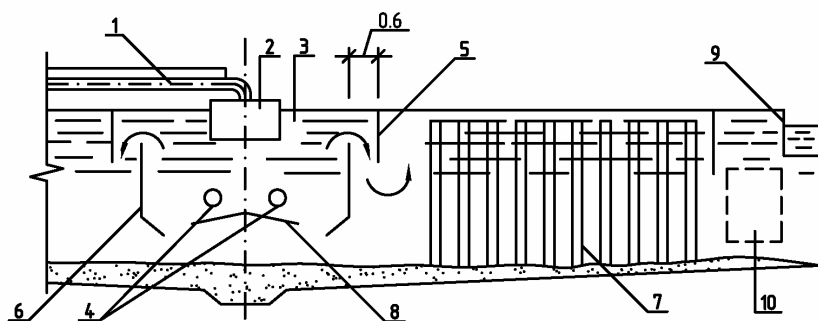


Рис.6.9. Радиальный отстойник со встроенной камерой биофлокуляции: 1 – подвод сточной воды и активного ила; 2 – распределительная камера; 3 – зона биофлокуляции; 4 – дырчатые азраторы; 5 – полупогружная перегородка; 6 – затопленные перегородки; 7 – низкоградиентная мешалка; 8 – защитный зонт; 9 – сборный водослив; 10 – тонкослойные блоки перекрестной схемы.

В Московском государственном строительном университете было осуществлено исследование этой схемы. Так, из зоны биофлокуляции, куда поступает сточная вода, активный ил и подается воздух, вода переходит под перегородкой зоны воздухоотделения в зону отстаивания. Зона биофлокуляции рассчитывается на пребывание сточной жидкости около 20 минут. Отделение прилипших пузырьков воздуха осуществляется для улучшения условий седиментации при дальнейшем отстаивании. В зоне осветления для стимулирования процесса седиментации устраиваются низкоградиентные мешалки. Расположенные на периферии отстойника тонкослойные блоки перекрестной схемы осаждения осветляют воду на завершающей стадии перед ее поступлением в сборный лоток. При оптимальной дозе избыточного активного ила 160-200 мг/л, которая соответствует его приросту, эффект осветления сточных вод по взвешенным веществам по данной технологической схеме достигает 75-80%, а по БПК_{полн} – 50-70%.

Интенсификация первичного отстаивания возможна также путем введения в сточные воды реагентов. Для улучшения хлопьеобразования минеральные коагулянты могут использоваться совместно с полиакриламидом, при необходимости может осуществляться подщелачивание сточных вод щелочными реагентами. На выбор вида и доз реагентов влияют состав сточных вод, необходимая степень их очистки, а также технико-экономические соображения. Использование реагентов на стадии предварительной очистки обеспечивает не только существенное повышение эффекта осветления сточных вод, но и удаления значительной части коллоидных и растворимых загрязнений, в том числе таких трудноокисляемых, как нефтепродукты, красители, ПАВ и др. Одновременно происходит снижение концентраций ионов тяжелых металлов и соединений фосфора. Снижение БПК и ХПК, концентраций взвешенных веществ и токсичных примесей, которое достигается при реагентной обработке, позволяет значительно улучшить работу биологических очистных сооружений.

Вместе с тем необходимо учитывать, что реагентная обработка сточных вод связана с использованием дефицитных реагентов и со строительством реагентного хозяйства, что приводит к существенному увеличению количества создаваемых осадков, как по сухому веществу, так и по объему. Поэтому решение об использовании реагентов для интенсификации очистки сточных вод на действующих сооружениях должно приниматься на основе всестороннего анализа ситуации.

Эксперименты [101] показали, что ускорение укрупнения взвешенных веществ и увеличение скорости осаждения образовавшихся

флокул возможно в результате флокуляционного перемешивания, то есть такого перемешивания при котором создаются благоприятные условия для сближения и столкновения частиц дисперсной фазы. При флокуляционном перемешивании достигается наиболее эффективное объединение частиц дисперсной фазы, превалирующее над разрушением флокул. Объединение (хлопьеобразование) частиц взвешенных частиц городских сточных вод осуществляется под действием перемешивания даже без использования реагентов. Это объясняется тем, что указанная категория взвеси владеет некоторыми флокуляционными свойствами. Максимальная эффективность осветления сточных вод достигается при продолжительности флокуляционного перемешивания 300-600с при градиенте скорости $G = 60 \text{ с}^{-1}$. Это позволяет достичь ускорение осаждения взвешенных веществ приблизительно на 20%. При этом эффективность отстаивания сточной воды увеличивается с увеличением концентрации взвеси в обрабатываемой воде.

Эффекты осветления сточных вод, снижения БПК и концентраций других загрязнений, которые достигаются при реагентной обработке, целесообразно оценивать по результатам лабораторных исследований на реальных сточных водах с учетом условий их отстаивания в действующих отстойниках (продолжительность отстаивания, скорость движения воды, минимальная гидравлическая крупность задерживаемых частичек и т.п.).

Результаты исследований, проведенных в последние годы у нас в стране и за рубежом, дают основание считать, что для первичного осветления сточных вод наряду с отстаиванием возможно использование других перспективных методов, одним из которых является флотация, которая приобрела широкое распространение для обработки промышленных сточных вод. При биологической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод и их смесей с промышленными стоками флотация может использоваться для первичного осветления сточных вод вместо первичных отстойников или совместно с ними.

Согласно [73] из городских сточных вод с помощью флотации могут быть удалены все грубодисперсные примеси, которые остались в воде после отстаивания в течение 10-15 мин.

Флотационное осветление сточных вод перед биологической очисткой может объединяться с обработкой их коагулянтами и флокулянтами, эффект очистки, который достигается при этом, составляет 90% и больше, одновременно происходит значительное снижение БПК сточных вод. Вместе с тем много флотореагентов могут отрицательно повлиять на дальнейшую биологическую очистку и качество очищен-

ных вод, например, в случае, когда флотореагент является токсичным или трудноокисляющимся веществом.

Флотация - один из наиболее эффективных методов удаления из сточных вод ПАВ, жиров, нефтепродуктов, поэтому использование флотации для очистки сточных вод, которые содержат такие загрязнения, является особенно эффективным. Продолжительность процесса флотационного осветления сточных вод не превышает обычно 30 мин, в то время как продолжительность отстаивания их в первичных отстойниках составляет не менее 1,5....2 ч. Флотация с использованием воздуха обеспечивает, кроме того, интенсивную аэрацию сточных вод. Использование флотационных методов осветления сточных вод позволяет уменьшить объемы осадков и шламов, которые образуются на очистной станции, поскольку влажность флотационных шламов, как правило, намного ниже влажности осадков, которые удаляются из отстойников [59].

В пользу использования флотации в технологических схемах биологической очистки сточных вод говорит также то обстоятельство, что практически во всех видах сточных вод есть ПАВ, которые широко используются в промышленности и быте. Часть этих веществ может играть роль флотореагентов, а также оказывать содействие флотации в силу снижения поверхностного натяжения воды и ряда других факторов.

Интенсификация флотационного осветления может быть достигнута введением в сточные воды избыточного активного ила, который имеет высокие сорбционные и коагуляционные свойства, а также хорошо поддается флотации, о чем свидетельствуют результаты исследований по его флотационному уплотнению [59,61,73,74].

Способ предварительного осветления сточных вод напорной флотацией совместно с биокоагуляцией загрязнений активным илом довольно детально рассмотрен в [59].

Сущность способа состоит в следующем. В сточные воды после их обработки на решетках и песколовках вводят избыточный активный ил, а образованную смесь осветляют флотацией. Процесс осветления может осуществляться с использованием разных технологических схем напорной флотации: с прямым насыщением воздухом осветленной воды (прямоточная схема), с насыщением воздухом части потока сточных вод (схема с распределением потоков), с рециркуляцией рабочей жидкости (рис.6.10).

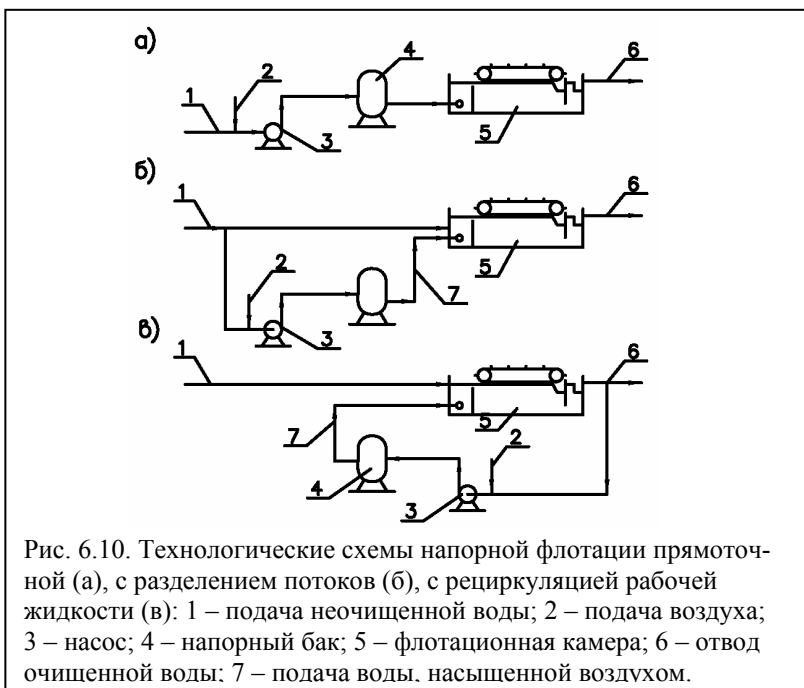


Рис. 6.10. Технологические схемы напорной флотации прямоточной (а), с разделением потоков (б), с рециркуляцией рабочей жидкости (в): 1 – подача неочищенной воды; 2 – подача воздуха; 3 – насос; 4 – напорный бак; 5 – флотационная камера; 6 – отвод очищенной воды; 7 – подача воды, насыщенной воздухом.

Насыщение жидкости воздухом можно осуществлять с помощью эжектора, который устанавливается обычно на переключении между напорной и всасывающей линиями насоса, а также с помощью компрессора, который нагнетает воздух в напорный бак той или иной конструкции [66, 73, 74, 75].

Таким образом, использование флотационных биокоагуляторов позволяет:

- сократить продолжительность первичного отстаивания сточных вод до 30...40 мин., существенно снизить БПК сточных вод и тем самым уменьшить соответственно необходимые объемы аэротенков и расходы воздуха на аэрацию;
- исключить из технологической схемы уплотнители избыточного активного ила;
- уменьшить влажность и объемы осадков и шламов, которые подлежат обработке в метантенках и других сооружениях, и тем самым сократить их размеры;

- уменьшить вероятность пенообразования в аэротенках за счет удаления пенообразователей на предварительной ступени очистки.

Снижение БПК во флотационных биокоагуляторах происходит, в основном, за счет удаления из сточных вод части растворенных и коллоидных органических загрязнений. Одновременно снижаются концентрации ПАВ, жиров, нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и других примесей. При использовании рабочей жидкости, особенно, при большом коэффициенте рециркуляции, флотационный биокоагулятор выполняет функции аэротенка первой ступени.

Величина БПК (в осветленной пробе) после очистки сточных вод во флотационном биокоагуляторе может быть определена по формуле

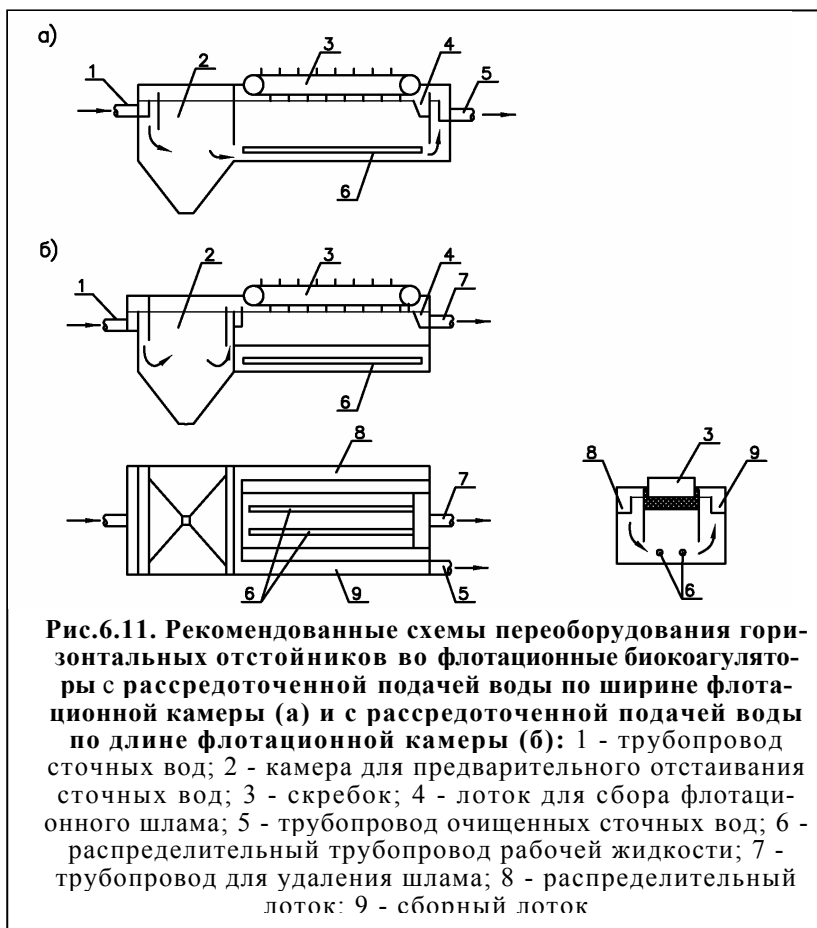
$$L = L_a - \Gamma\Pi,$$

где L_a - БПК₅ неочищенных сточных вод, мг/л; Γ - величина удельной сорбции загрязнений избыточным активным илом, мгБПК_{полн} на 1 г сухого вещества ила; Π - прирост активного ила в аэротенках, г/л.

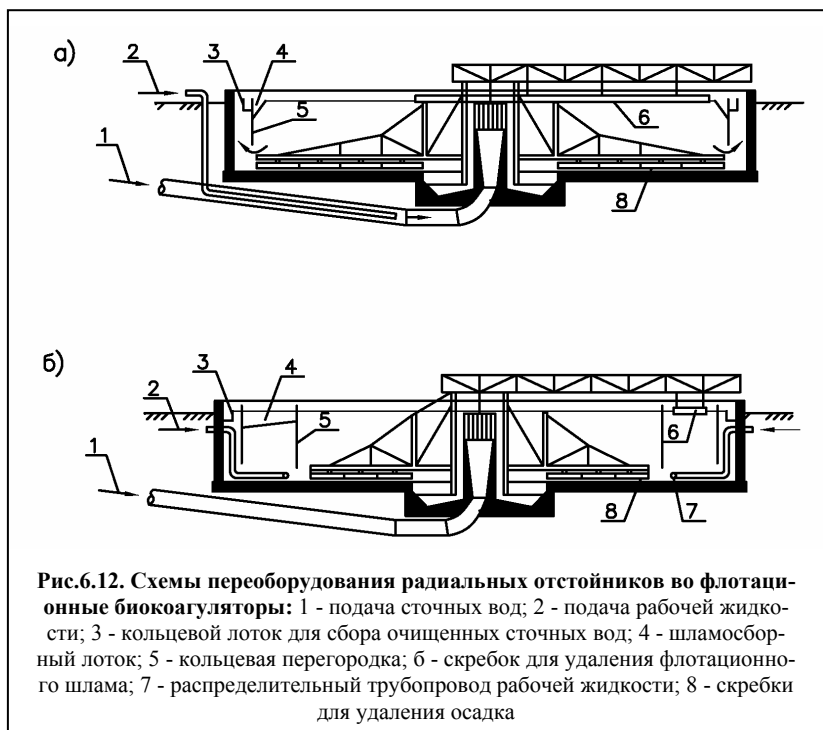
Эффект снижения концентрации взвешенных веществ во флотационных биокоагуляторах для городских сточных вод составляет 50-55% от исходной концентрации взвешенных веществ в неочищенных сточных водах.

В качестве флотационных биокоагуляторов могут быть использованы флотаторы разных типов [73,75]. При интенсификации работы действующих очистных сооружений возможна реконструкция первичных отстойников во флотационные биокоагуляторы, заключающаяся в оборудовании их устройствами для распределения очищенных сточных вод и рабочей жидкости, отвода очищенной воды, сбора и удаления флотационного шлама. Из-за того, что при работе флотационного биокоагулятора и его аварийных остановках происходит выпадение осадка, в переоборудованном отстойнике следует сохранить устройства для его удаления.

В горизонтальных отстойниках при переоборудовании их в флотационные биокоагуляторы часть рабочего объема в начале отстойника используется для осаждения крупных и тяжелых грубодисперсных примесей, остальной объем отводится под флотационную камеру (рис.6.11). С наибольшей эффективностью рабочий объем горизонтального отстойника в случае переоборудования его во флотатор может быть использован при рассредоточенной подаче и отводе сточной жидкости по длине флотационной камеры, хотя это немного и усложняет ее конструкцию (рис.6.11 б).



Переоборудование радиальных первичных отстойников во флотационные биokoагуляторы при сохранении скребков ила связано с трудностью устройства систем для распределения рабочей жидкости. Возможна конструктивная схема, при которой рабочая жидкость, насыщенная воздухом, вводится в самотечный трубопровод, подающий сточные воды в отстойник (рис.6.12 а). Под флотационную камеру может быть отведена периферийная часть радиального отстойника, который при этом становится комбинированным сооружением - отстойником-флотатором (рис.6.12 б).



Флотационные биокоагуляторы всех типов оборудуются шламосборными устройствами, в состав которых входят скребковые механизмы, шламосборные лотки и отводные трубопроводы.

В горизонтальных флотационных камерах используются скребковые транспортеры, которые обеспечивают как периодическое, так и непрерывное удаление шлама. Для флотационных камер круглой формы рекомендуется использовать скребок, который выполнен в виде спирали Архимеда. Такой скребок перемещает флотационный шлам к периферийному сборному лотку [73]. Шламопроводы в границах флотационного биокоагулятора должны быть диаметром не менее 300 мм.

Флотационные биокоагуляторы можно эффективно использовать для предварительной очистки сточных вод от жира и других труднооседаемых примесей на очистных сооружениях, которые принимают сточные воды мясокомбинатов, молокоперерабатывающих пунктов и других предприятий пищевой промышленности. При ис-

пользовании всего избыточного активного ила, который образуется в аэротенках при очистке сточных вод мясокомбината, эффект удаления жира во флотационных биокоагуляторах составляет 70-90%, что существенно снижает нагрузку на аэротенки по органическим загрязнениям и снижает практически к нулю концентрации жира в биологически очищенных сточных водах.

Кроме выделения веществ, которые оседают в первичных отстойниках, задерживаются также плавающие вещества, которые представляют собой, в основном, разные виды нефтепродуктов. Эффект задержания плавающих веществ в первичных отстойниках, согласно исследованиям, проведенным на Курьяновской станции аэрации г. Москвы [68], составляет около 50%. Обычно плавающие вещества вместе с осадком направляются на сбраживание в метантенки, где нефтепродукты практически не разлагаются, а лишь эмульгируются. При этом возникает дополнительная сложность при последующей обработке осадка и рециркуляции сливной воды. Предотвратить это можно, направив задержанные в первичных отстойниках плавающие вещества в поток сточных вод перед решетками с мелкими прозорами, на стержнях которых имеется практически постоянно слой отбросов, эффективно задерживающий плавающие вещества. В дальнейшем, вместе с отбросами задержанные на них плавающие вещества отправляются на захоронение и выводятся тем самым из технологического цикла.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы интенсификации работы первичных отстойников?
2. Каким образом можно увеличить пропускную способность первичных отстойников?
3. Как влияет предварительная аэрация сточных вод на процесс отстаивания?
4. Что такое биокоагуляция, её положительные и отрицательные свойства?
5. Как реализовать биофлокуляцию на действующих сооружениях первичного отстаивания?
6. Что такое флотационное осветление сточных вод, какие технологические схемы используются?
7. Какие существуют виды и технологические схемы флотации?

7. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

7.1. МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ БИОФИЛЬТРОВ

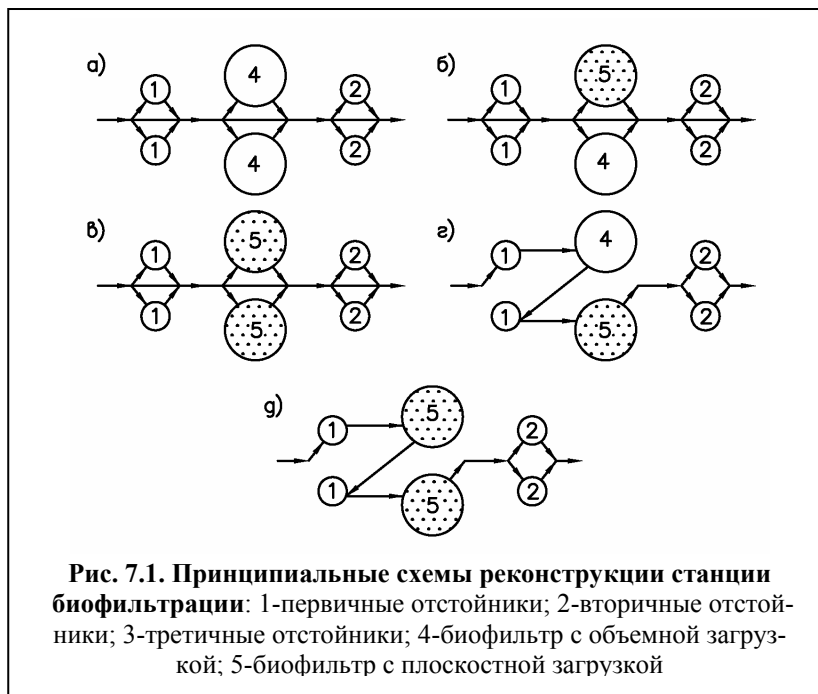
Основной целью интенсификации работы биологических фильтров является повышение их пропускной способности и эффективности очистки сточных вод. Реконструкции должен предшествовать ряд мероприятий, без которых выполнять работы практически невозможно. Перед реконструкцией необходимо:

- провести анализ работы всего комплекса очистных сооружений, их состояния и, в отдельности, биофильтров;
- осуществить экспертизу технического состояния биофильтров, включая конструктивную часть, материал, который загружается, систему распределения, сбора и отвода воды;
- разработать мероприятия по реконструкции, включая разные варианты решений, дать их технико-экономическую оценку и выбрать оптимальный вариант.

Основными методами интенсификации работы биофильтров являются:

- изменение технологической схемы работы всего комплекса сооружений;
- замена объемной загрузки на плоскостную;
- изменение системы распределения сточных вод по поверхности загрузки биофильтра;
- использование многоступенчатой схемы очистки в биофильтрах;
- использование рециркуляции сточных вод;
- искусственная вентиляция загрузки биофильтров.

На рис.7.1 представлены принципиальные технологические схемы реконструкции действующих станций биофильтрации с целью интенсификации их работы и улучшения качества очистки сточных вод. На схеме „а” дана технологическая схема реконструкции, схема „б” и „в” – соответственно с частичным и полным перегрузками объемной загрузки на плоскостную с возможным наращиванием ограждающих стен и увеличением слоя загружаемого материала. Схемы „г” и „д” предусматривают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и перегрузку объемной загрузки на плоскостную только первой или обеих ступеней биофильтров.



Реконструкция капельных биофильтров

Технологическая схема очистки сточных вод на капельных биофильтрах включает следующие сооружения: решетка, песколовки, двухъярусные отстойники, капельные биофильтры, вторичные отстойники, контактные резервуары.

В отечественной практике наибольшее распространение получили капельные прямоугольные в плане биофильтры, размещенные в помещении. Высота слоя загружаемого материала таких конструкций биофильтров составляет 1,5-2м. Для проверки пропускной способности биофильтра необходимо выполнить поверочные расчеты по определению реальной пропускной способности сооружений и определить возможность ее увеличения в соответствии с технической задачей на реконструкцию.

Все расчеты выполняются по формулам, которые приведены в [58].

Таким образом, возможные варианты интенсификации работы биофильтров таковы:

Замена загрузочного материала.

1 вариант – реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый. Для этого необходимо увеличить высоту слоя загружаемого материала минимум до 2 м, установить низконапорные вентиляторы; подвести воздухопроводы к окнам междудонного пространства; смонтировать и установить в каналах на выходе из биофильтров гидравлические затворы для предотвращения выхода воздуха в атмосферу. Пропускная способность биофильтра при этом может быть увеличена в 1,5-2,5 раза.

2 вариант - реконструкция капельного биофильтра в биофильтр с плоскостной загрузкой (рис. 7.2).

При замене объемного загрузочного материала на плоскостной необходимо учитывать, что оптимальная высота плоскостной загрузки должна быть не меньше 3-4 м. На рис. 7.2 приведены возможные варианты реконструкции капельных биофильтров с заменой загрузки на пластмассовую.

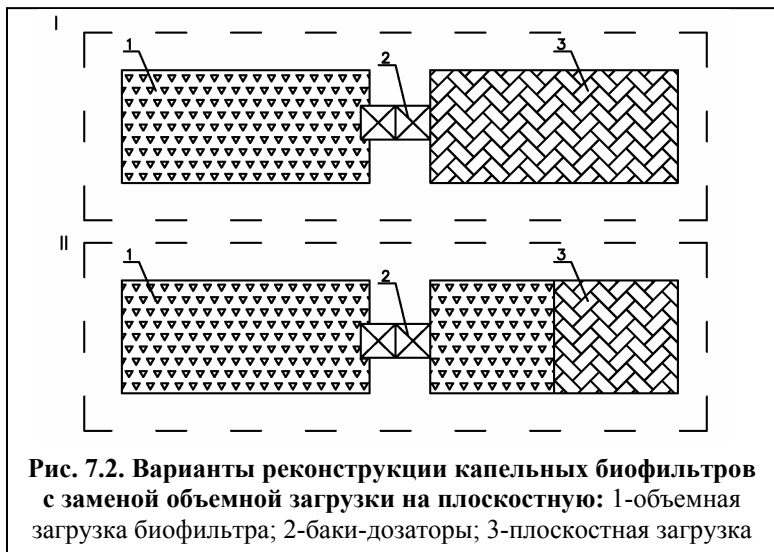


Рис. 7.2. Варианты реконструкции капельных биофильтров с заменой объемной загрузки на плоскостную: 1-объемная загрузка биофильтра; 2-баки-дозаторы; 3-плоскостная загрузка

Во всех случаях очистка сточных вод осуществляется по двухступенной технологической схеме. При этом на первой ступени ис-

пользуется биофильтр с плоскостной загрузкой, а на второй ступени очистки остается капельный биофильтр. Вторая ступень биологической очистки должна обеспечить обработку сточных вод до требуемых показателей. Для подачи сточной воды на вторую ступень очистки необходимо устройство дополнительной насосной станции.

Метод реконструкции сооружений биофильтра с плоскостной загрузкой без увеличения высоты ее слоя не обеспечивает улучшения качественных показателей очищенной воды.

В результате реконструкции капельных биофильтров пропускная способность очистных сооружений увеличивается в 4-6 раз.

Изменение технологической схемы работы капельных биофильтров.

Движение сточной воды по очистным сооружениям после реконструкции осуществляется следующим образом: после песколовки сточная вода поступает непосредственно на биофильтры с плоскостной загрузкой без первичного отстаивания. Для биофильтра с плоскостной загрузкой используется часть капельного биофильтра с увеличением слоя загружаемого материала до 3-4 м.

После первой ступени очистки сточная вода насосами перекачивается в существующие двухъярусные отстойники и доочищается в капельных биофильтрах. После отстаивания во вторичном отстойнике и дезинфекции очищенная вода сбрасывается в водоем.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров.

Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применять несколько вариантов реконструкции. Методы интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров путем реконструкции мало чем отличаются от реконструкции капельных биофильтров. Из большого количества вариантов реконструкции выделим и рассмотрим два решения, которые чаще всего применяются.

1. Реконструкция высоконагружаемых биофильтров путем замены загружаемого материала на плоскостной.

Для этого необходимо выполнить следующие работы: смонтировать новую водораспределительную систему; нарастить высоту стен биофильтра; заменить существующие лотки на каналы большей пропускной способности; переоборудовать систему подачи сточной воды на очистку; заменить водоотводные лотки ко вторичным отстойникам.

Высота ограждающих конструкций высоконагружаемых биофильтров увеличивается до 3-4 м, в качестве плоскостного загружаемого материала возможно использовать рулонный загрузочный материал из гофрированного вторичного полиэтилена. Для орошения поверхности загрузочного материала можно использовать оросители струйного типа.

2. Изменение технологической схемы работы высоконагружаемых биофильтров с заменой загрузочного материала.

В данном случае рассматривается только реконструкция биофильтров с изменением технологической схемы очистки сточных вод. Проанализируем три возможных варианта реконструкции на примере очистной станции с двумя аэрофильтрами (рис. 7.3).

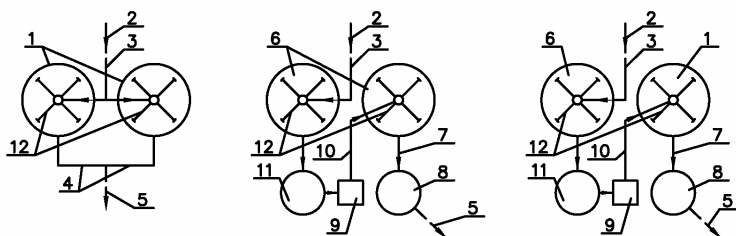


Рис. 7.3. Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции и варианты реконструкции высоконагружаемых биофильтров: а – существующая схема очистки сточных вод; б – с полной заменой загрузочного материала в аэрофильтрах; в – с заменой загрузочного материала в одном аэрофильтре:

1-существующие аэрофильтры; 2-трубопровод для подачи неочищенной сточной воды; 3-напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 4-трубопровод очищенной сточной воды после аэрофильтров; 5-очищенная сточная вода после аэрофильтров; 6-биофильтр с пластмассовой загрузкой; 7-очищенная сточная вода на третичные отстойники; 8-третичные отстойники; 9-насосная станция; 10-напорный трубопровод на вторую ступень биофильтров; 11-вторичные отстойники; 12-реактивные оросители; 13-биофильтры второй ступени очистки с пластмассовой загрузкой

Первый вариант. Реконструкция обоих аэрофильтров путем замены гравийной загрузки на плоскостную (пластмассовую) с работой их по двухступенчатой технологической схеме (рис. 7.3 б).

Второй вариант. Реконструкция всех биофильтров с заменой загрузочного материала. При этом сохраняется одноступенчатая схема работы биофильтров.

Третий вариант. Реконструкция одного из биофильтров с заменой загрузочного материала. В этом случае работа сооружений также будет осуществляться по двухступенчатой схеме: на первой степени работает биофильтр с плоскостной загрузкой, на второй – аэрофильтр (рис. 7.3 в).

Для реализации первого и второго вариантов реконструкции потребуется строительство дополнительных отстойников после биофильтров с плоскостной загрузкой и насосной станции для перекачки осветленной воды после отстойников на вторую ступень в аэрофильтр.

Использование рециркуляции сточных вод.

Рециркуляция, то есть повторная подача на биофильтры части очищенных сточных вод вместе с неочищенными сточными водами, увеличивает производительность биофильтров и повышает эффективность биологической очистки. Вода, которая возвращается на биофильтры, несет с собой кислород, нитриты и нитраты, аэробные микроорганизмы и ферменты. Вследствие этого смесь рециркуляционной воды с неочищенными сточными водами приобретает свойства, которые обеспечивают повышение скорости окисления загрязнений биопленкой.

В случае использования рециркуляции значительно повышается эффективность участия в процессе очистки нижних слоев загрузки биофильтра, уменьшается опасность заиливания загрузки, сглаживаются пики концентраций загрязнений сточных вод, обеспечивается более равномерная гидравлическая нагрузка на биофильтр в течение суток.

Согласно [58] рециркуляция обязательна во всех случаях, когда БПК сточных вод превышает 220 мг/л при очистке их на капельных биофильтрах, 300 мг/л при очистке на высоконагружаемых биофильтрах и 250 мг/л - на биофильтрах с пластмассовой загрузкой.

Рециркуляция, как способ интенсификации работы действующих биофильтров, может быть осуществлена несколькими путями. Рециркуляционную воду можно отбирать из канала после вторичных отстойников и смешивать ее со сточными водами, очищенными в первичных отстойниках (рис. 7.4а). В этом случае введение рециркуляции увеличивает нагрузку на вторичные отстойники, поэтому в большинстве случаев необходимо строить дополнительные отстойники.

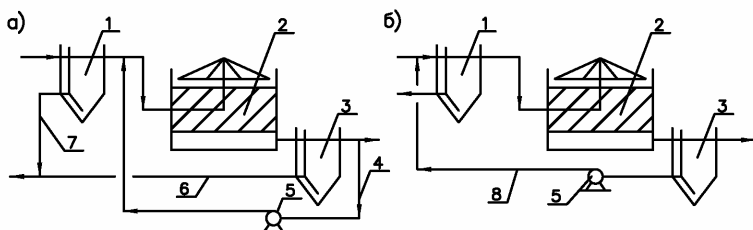


Рис.7.4. Схема очистки сточных вод на биофильтрах с рециркуляцией очищенной воды: 1-первичный отстойник; 2-биофильтр; 3-вторичный отстойник; 4-рециркуляционная вода; 5-насос; 6-биопленка; 7-сырой осадок; 8-рециркуляционная вода с биопленкой

Роль рециркуляции существенно повышается в случае, когда рециркуляционная вода забирается вместе с осевшей биопленкой из осадочной части вторичных отстойников и смешивается с неочищенными сточными водами перед первичными отстойниками (рис. 7.4 б).

В смеси сточных вод уже на этапе первичной очистки начинаются процессы биологической очистки, часть растворенных и коллоидных загрязнений удаляется из воды за счет их биокоагуляции биопленкой.

Описанный способ рециркуляции позволяет сохранить существующий объем вторичных отстойников, рабочая зона которых рассчитывается в таком случае только на расход очищаемых сточных вод, но предполагает увеличение объема первичных отстойников пропорционально рециркуляционному расходу.

Необходимо указать, что суммарный объем первичных и вторичных отстойников при приведенных выше способах рециркуляции не изменяется, если продолжительность первичного и вторичного отстаивания, а также коэффициенты рециркуляции одинаковы.

В работе [76] описан способ очистки сточных вод, в котором рационально соединены рециркуляция очищенной воды и флотационное осветление сточных вод перед их подачей на биологические фильтры. Суть способа состоит в том, что рециркуляционная вода, отбираемая вместе с биопленкой из осадочной части вторичных отстойников, используется как рабочая жидкость для флотационного биокоагулятора, который используется для предварительного осветления сточных вод (рис.7.5).

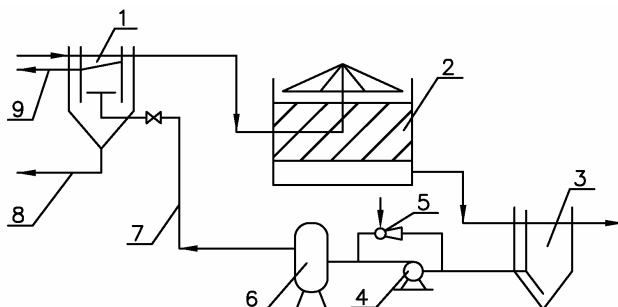


Рис.7.5. Схема очистки сточных вод на биофильтрах с предварительным флотационным осветлением воды: 1-флотационный биокоагулятор; 2-биофильтр; 3-вторичный отстойник; 4-насос; 5-водоструйный эжектор; 6-напорный бак; 7-рециркуляционная рабочая жидкость; 8-осадок; 9-флотационный шлам

Исследование предложенной схемы показало возможность повышения производительности биофильтра на 37..40% по сравнению с традиционной. Реализация такой схемы на действующих станциях с высоконагружаемыми биофильтрами возможна при небольших капитальных затратах.

Расчет биофильтров выполняется согласно действующим нормативным документам [58] с учетом снижения БПК_{полн} при флотационном осветлении смеси сточных вод и рециркуляционной воды на 35 % [59]. Расчетный объем рабочей зоны флотационных биокоагуляторов должен определяться по продолжительности пребывания в ней смеси рециркуляционной и сточной воды на протяжении 30 мин при гидравлической нагрузке $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Конструкция флотационного биокоагулятора выбирается с учетом удобства удаления флотационного шлама и осадка, а также конкретных условий их строительства. Переоборудование во флотационные биокоагуляторы первичных отстойников выполняется по рекомендациям и схемам, приведенным в [59].

Увеличение производительности существующих биофильтров за счет увеличения количества подаваемого кислорода

Одним из путей повышения производительности существующих биофильтров может быть применение искусственной вентиляции загрузки для капельных биофильтров, или увеличение удельного расхода воздуха на аэрофильтрах.

Дефицит кислорода в особенности наблюдается в капельных и высоконагружаемых биофильтрах с объемной загрузкой из щебня, гравия, керамзита, кокса, шлака. Активная биомасса в таких биофильтрах очень неравномерно распределена по высоте загрузки. Около 70% аэробных микроорганизмов сосредоточено в верхнем слое загрузки толщиной до 250 мм. В более глубоких слоях в большом количестве присутствуют анаэробные микроорганизмы, что является следствием ощутимого здесь дефицита кислорода.

Существование в загрузке анаэробных зон обусловлено прежде всего ее заиливанием из-за перегрузки биофильтра поступающими загрязнениями при недостаточной гидравлической нагрузке. Вместе с тем дефицит кислорода в загрузке биофильтров может быть вызван недостаточной интенсивностью ее вентиляции, в особенности естественной, рассчитанной, в основном, на поступление воздуха в толщу загрузки, обусловленное разницей температур внутри и вне биофильтра. Интенсивность естественной вентиляции загрузки зависит от ее сопротивления движению воздуха, которое возрастает при заиливании загрузки биопленкой. Прекращение поступления кислорода в загрузку вызывает гниение биопленки и выход биофильтра из работы. Такой опасности в большей мере подвержены капельные биофильтры.

Аэрацию загрузки может улучшить применением вентиляторов для подачи воздуха в междудонное пространство под слой загрузочного материала.

Определенное путем расчета необходимое количество воздуха способно обеспечить биохимические процессы кислородом только в случае равномерного распределения его по всему объему загрузки, что возможно лишь при одинаковом его гидравлическом сопротивлении по всей площади биофильтра. К сожалению, такие случаи встречаются очень редко вследствие неоднородности загрузки биофильтра по гранулометрическому составу и наличие локальных заиленных участков. Поэтому перед переводом биофильтра на работу с искусственной вентиляцией необходимо устранить непроницаемость для воды и воздуха отдельных участков загрузки, что наблюдается чаще всего в местах, где сосредоточен неоднородный загрузочный материал, или не обеспечена достаточная интенсивность орошения загрузки. В случае необходимости нужно промыть или заменить всю загрузку биофильтра или ее верхний слой. Биофильтры при переводе их с естественной на искусственную вентиляцию загрузки оборудуются герметичными заглушками на отверстиях, которые используются в случае естественной

вентиляции загрузки, а также гидрозатворами на лотках или трубопроводах для отвода очищенной воды.

Известно, что процесс биологической очистки сточных вод на биофильтрах можно интенсифицировать вентиляцией загрузки в направлении сверху вниз, то есть одинаковому с направлением движения воды в биофильтре. При такой системе свежий воздух с большим содержанием кислорода поступает в верхнюю зону загрузки, где с наибольшей интенсивностью протекают биохимические процессы окисления загрязнений и потребность в кислороде максимальна. Биофильтры с нисходящим потоком воздуха работают надежно и отличаются от обычных повышенной окислительной мощностью. Но такие биофильтры приходится делать закрытыми, что усложняет их конструкцию [77].

Вместе с тем возможен простой способ решения задачи вентиляции открытых биофильтров с подачей воздуха в загрузку в направлении сверху вниз. Для этого необходимо подключить всасывающий воздуховод вентилятора или воздуходувки к междудонному пространству биофильтра, что обеспечит необходимое направление движения воздуха в загрузке (рис. 7.6).

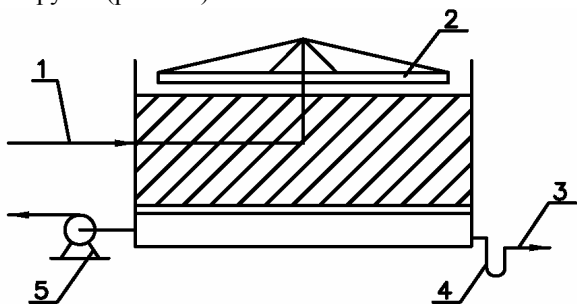


Рис.7.6. Биофильтр с вентиляцией загрузки в направлении сверху вниз: 1-подводящий трубопровод; 2-распределительный трубопровод; 3-отвод очищенной воды; 4-гидравлический затвор; 5-вентилятор

Для повышения степени использования кислорода воздуха и уменьшения затрат электроэнергии на вентиляцию загрузки, воздух, который забирается из междудонного пространства одного биофильтра, тем же самым вентилятором может быть подан в другой биофильтр для обычной вентиляции загрузки в направлении снизу вверх.

Интенсификация биофильтров за счет применения

двухступенчатого режима работы

Использование двухступенного режима работы биофильтров позволяет увеличить гидравлическую нагрузку на отдельные сооружения и общую производительность блока биологической очистки. В соответствии с [78] при реконструкции действующих биофильтров может быть использована ступенчатая технологическая схема, изображенная на рис. 7.7. В этой схеме соотношение объемов биофильтров первой и второй ступеней находятся в границах 1:1,5...2. Отстойники между первой и второй ступенями отсутствуют.

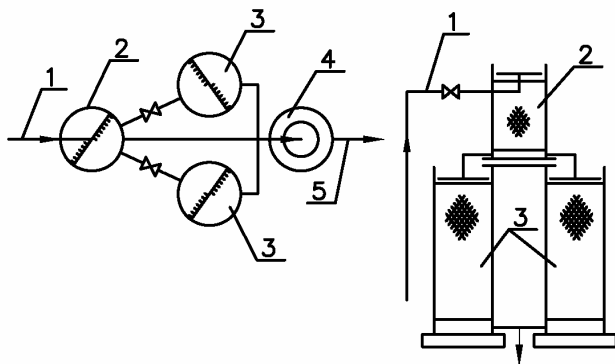


Рис.7.7. Двухступенная технология очистки сточных вод на биофильтрах по горизонтальной (а) и вертикальной (б) схемам: 1-подача сточной воды; 2-биофильтр первой ступени; 3-биофильтр второй ступени; 4-вторичный отстойник; 5-отвод очищенной сточной воды

Таким образом, биопленка, которая выносится из биофильтров первой ступени продолжает работать в биофильтрах второй ступени, обеспечивая адгезионно-окислительное удаление загрязнений. При этом, во избежание заиливания загрузки, крупность щебня должна быть не менее 50 мм, а гидравлические нагрузки должны определяться соответствующими расчетами [78].

Двухступенчатая очистка сточных вод может потребовать увеличения пропускной способности трубопроводов, которые обслуживают отдельные секции биофильтров, установки насосов для подачи сточных вод на биофильтры второй ступени и устройство промежу-

точных вторичных отстойников с продолжительностью отстаивания 1 ч после биофильтров первой ступени.

При переводе биофильтров на режим двухступенчатой очистки необходимо учитывать, что в соответствии с действующими нормативами гидравлические нагрузки на биофильтры должны находиться в нормированных границах, $1...3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ для капельных биофильтров, $10...30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ – для высоконагружаемых. Вместе с тем, как показывает опыт, эффективная работа биофильтров при рециркуляции и подаче достаточного количества воздуха возможна при значительно больших, чем нормированные, гидравлических нагрузках [59,78].

Контрольные вопросы

1. Цель интенсификации работы биологических фильтров?
2. Какие мероприятия необходимо осуществлять для решения вопросов реконструкции биологических фильтров?
3. Какие существуют основные методы интенсификации работы биофильтров?
4. Приведите принципиальные технологические схемы реконструкции действующих станций с биофильтрами.
5. Как можно интенсифицировать работу высоконагружаемых биофильтров?
6. Влияние вентиляции загрузки биофильтров на их работу.
7. Какие используют двухступенчатые технологические схемы очистки сточных вод на биофильтрах?

7.2. АЭРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Необходимость интенсификации работы аэрационных сооружений возникает при:

- увеличении расхода сточных вод;
- ухудшении качества очистки или при предъявлении более высоких требований к последней;
- необходимости снижения потребления электроэнергии.

Для интенсификации работы аэрационных сооружений существуют следующие основные способы:

- увеличение массы активного ила, который принимает участие в процессе очистки;
- внедрение технологии биологического удаления азота и фосфора;

- оптимизация работы аэрационной системы, включая использование высокоэффективных аэраторов;
- усовершенствование гидродинамического режима работы аэротенков;
- использование двухступенчатой очистки сточных вод;
- использование флотационных аэротенков-осветлителей и аэротенков с глубинной аэрацией.

Внедрение вышеупомянутых способов на очистных сооружениях может происходить путем:

- строительства новых аэрационных сооружений;
- реконструкции и интенсификации действующих.

Выбирая вариант, нужно учитывать тот фактор, что в первую очередь будут финансироваться те предложения, которые имеют небольшие капитальные затраты и приносят несомненный экономический эффект как с точки зрения оздоровления экологической обстановки, так и экономии материальных и энергетических ресурсов. Поэтому, в таких условиях реконструкция и интенсификация действующих сооружений является наиболее перспективным вариантом.

7.2.1. Увеличение массы активного ила, который принимает участие в процессе очистки

Повышение концентрации активного ила в аэротенках является основным из всех возможных способов интенсификации их работы. Однако этот способ имеет как преимущества, так и недостатки. Основное преимущество состоит в возможности значительного увеличения окислительной мощности аэротенка. Так, считается, что увеличение последней от 0,5-1 до 12 кг БПК_{полн}/(м³·сут.) происходит при повышении дозы активного ила в зоне аэрации соответственно от 1-2 г/л до 25 г/л. Тем не менее, повышение концентрации активного ила в аэротенке предопределяет увеличение выноса его из вторичных отстойников вследствие ухудшения гравитационного разделения иловой смеси при повышении ее концентрации. Кроме этого, в такой ситуации возникает опасность слишком продолжительного пребывания активного ила в анаэробной части вторичного отстойника, что может вызвать снижение активности ила и, в отдельных случаях, даже его загнивания. Учитывая это, интенсификацию работы аэротенков необходимо осуществлять с учетом технологического режима работы вторичных отстойников. Нормальная работа последних обеспечивается при поступлении в

них из действующих аэротенков концентрации активного ила в определенных количествах. Предельная концентрация для аэротенков разных очистных сооружений может быть разной, зависимой от многих факторов. При повышении до возможной границы концентрации активного ила в аэротенках можно лишь незначительно повысить их производительность и увеличить качество очистки сточных вод.

Повысить массу активного ила в аэротенках можно за счет:

- применения аэротенков, оборудованных специальными фильтрующими элементами;
- использования отдельной регенерации активного ила;
- иммобилизации микрофлоры на инертных нагрузках.

Так, способ предварительного разделения иловой смеси в пределах аэротенка сетчатыми насадками, которые удерживают основную массу ила в аэротенке, не допуская его выноса во вторичные отстойники, можно признать одним из давно известных способов. Однако, согласно исследованиям МГСУ, при очистке сточных вод по этому способу возникает необходимость устройства второй ступени аэрации, поскольку ил, который прошел через сетчатые насадки, имеет очень низкую способность к осаждению во вторичных отстойниках. Следует указать, что фильтрующие элементы можно использовать не только в аэротенках, но и в процессе вторичного отстаивания. Так, японские специалисты предложили реализовать процесс отделения активного ила с помощью мембранной технологии. В качестве мембранного материала исследовались разные конфигурации пустот: капиллярные, полые волокна, трубчатые и пластинчатые пористые насадки. Для предотвращения забивания мембран использовалось попеременное применение разрежения (подсос) и невысокое обратное давление.

Другим направлением повышения концентрации активного ила в аэротенках является использование отдельной регенерации активного ила. При этом в регенераторах может поддерживаться высокая доза ила (до 7-8 г/л), а именно в аэротенках устанавливается оптимальная доза (обычно 1,5-2 г/л), которая обеспечивает нормальную работу вторичных отстойников. При использовании технологической схемы аэротенка с регенератором для увеличения окислительной мощности всей системы аэрационных сооружений и, как следствие, для достижения лучшей степени очистки, важно поддерживать в регенераторе по возможности наибольшую концентрацию активного ила. Этого можно достичь увеличением продолжительности уплотнения активного ила в осадочной части вторичных отстойников, то есть путем уменьшения расхода рециркулирующего ила. Тем не менее, как уже отмечалось,

это может отрицательно сказаться на работе вторичных отстойников и самих аэротенков. А именно, это может привести к ухудшению окислительных и седиментационных свойств ила, к созданию менее благоприятных условий для обеспечения микроорганизмов кислородом.

Учитывая эти противоположные тенденции, можно сделать вывод, что оптимальный расход рециркулирующего ила, который обеспечивает максимальную производительность аэротенка с отдельной регенерацией, для каждого конкретного случая будет иным и определяется экспериментальным путем. Определение такого расхода можно осуществить, плавно изменяя расход рециркулирующего ила при постоянном контроле таких показателей процесса очистки, как БПК сточных вод до и после очистки в аэротенке, концентрация взвешенных веществ в сточной воде на входе и выходе из вторичных отстойников, доза активного ила, иловый индекс и концентрация растворенного кислорода в регенераторе и собственно в аэротенке. Следует отметить, что интенсификация аэротенков путем введения отдельной регенерации активного ила, увеличения объема действующих регенераторов или повышение в них концентрации активного ила требуют значительного увеличения расхода кислорода на очистку сточных вод. То есть повышение эффективности работы аэротенков рассматриваемым путем возможно лишь при соответствующем увеличении интенсивности аэрации.

Следующим путем повышения дозы ила в аэрационных сооружениях является использование нейтральных носителей для образования фиксированной микрофлоры. Аэротенки с заполнением всего или части их объема инертными материалами с развитой поверхностью, которая обрастает биопленкой, получили название биотенки. Такое закрепление микроорганизмов позволяет устранить перегрузку вторичных отстойников, поскольку увеличивается концентрация ила в аэротенке без существенного повышения концентрации иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники. В качестве носителей микрофлоры используются как плавающие, так и фиксировано установленные насадки из разных материалов разной формы, что позволяет повысить дозу ила в аэротенке до 8-10 г/л без ухудшения работы вторичных отстойников. В аэротенках размещаются блоки из плоских или волнистых пластмассовых и асбестоцементных листов, пластмассовой решетки, щитов в виде металлического или деревянного каркаса с закрепленными на нем листами поролона, стекловолокна, синтетических тканей и других материалов. Возможно заполнение объема аэротенка загрузкой из пенополиуретана, полистирола, пластмассовых элементов

и др. В частности, к таким материалам можно отнести пластмассовый шнур (или бечевку), который устанавливается в аэротенке в виде сетей плетения, свободно плавающих губок разной формы с пористостью около 97% с внутренней и внешней поверхностью, способствующей прикреплению биомассы. В аэрационной зоне для предотвращения выноса этого материала (плотность его близка к 1) он крепится с помощью проволочных сеток. Некоторое распространение при интенсификации аэротенков приобрели ершковые насадки. Следует отметить, что при заполнении аэротенка разными нагрузками значительно усложняется доступ кислорода к закрепленным микроорганизмам. Учитывая это, при реконструкции аэротенка при внедрении этой технологии, необходимо обеспечить беспрепятственный доступ воздуха во всех частях аэротенка и организовать необходимую циркуляцию активного ила с целью ликвидации застойных зон, где может происходить выпадение активного ила в осадок. Применение аэротенков с фиксированной микрофлорой наиболее целесообразно для проведения биологической очистки в режиме глубокого удаления биогенных элементов.

7.2.2. Технология биологического удаления азота и фосфора

В биологически очищенных традиционным способом сточных водах содержится значительное количество биогенных элементов (соединений азота и фосфора), которые, поступая в водохранилища, приводят к эвтрофикации последних. Бурное развитие водорослей в водоеме становится причиной вторичного загрязнения воды, повышения цветности, снижения концентрации растворенного кислорода и ухудшения ее органолептических показателей. „Цветение” воды в естественных водоемах значительно усложняет ее использование для водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий. Поэтому содержание основных биогенных элементов в очищенных сточных водах жестко нормируется.

В то же время на подавляющем большинстве очистных сооружений Украины отсутствует возможность удаления соединений азота и фосфора. При этом существует много методов для очистки сточных вод от биогенных элементов. Можно использовать разные физико-химические, биологические и химико-биологические методы. Однако преимущественно применяется биологический метод удаления соединений азота и фосфора.

Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основывается на процессах нитро-денитрификации, заключающихся в окислении нитрофицирующими бактериями аммонийного азота до нитратов (нитрификация) и последующего их восстановления денитрофицирующими бактериями до газообразного азота (денитрификация). При этом для жизнедеятельности этих микроорганизмов используется связанный кислород нитратов и нитритов, что приводит к уменьшению удельного расхода воздуха на аэрацию сточных вод и, как следствие, удельных энергозатрат.

Биологическая очистка сточных вод от соединений фосфора базируется на способности некоторых групп бактерий (преимущественно вида *Acinetobacter*) в искусственно созданных экстремальных условиях (получаемых путем перевода зон, в которых находятся бактерии, из анаэробных в аэробные) извлекать из жидкой фазы значительно большее количества фосфора, чем это необходимо для создания клеточной структуры (так называемое «жадное поглощение»).

Повышение эффекта удаления фосфора в сооружениях типа аэротенков можно получить при соединении биологических процессов с химическим осаждением.

Нет единого мнения у специалистов по совместному удалению азота и фосфора. Одни считают, что такое удаление с помощью ила не так просто, поскольку при совместном удалении требования к возрасту ила противоположны, а нитратные и нитритные соединения, которые получаются в процессе извлечения азота, ингибируют удаление фосфора. Другие доказывают, что совместное удаление биогенных элементов возможно при оптимальном значении возраста ила, которое соответствует максимальному удалению азота и фосфора и равняется 6-10 суткам [79].

Существует довольно много схем, по которым можно осуществлять реконструкцию аэротенков под технологию биологического удаления азота и фосфора. По расположению денитрификатора они подразделяются на схемы с предварительной, последующей денитрификацией и комбинированные. Среди них можно выделить те, в которых главной целью является удаление азота методом нитро-денитрификации, а дефосфатирование в них носит характер второстепенного, зависимого от основного, процесса, и те, в которых дефосфатирование происходит совместно с денитрификацией, в независимом режиме.

Ниже рассмотрен ряд схем, которые нашли применение на практике. Следует отметить, что усовершенствование процесса очист-

ки продолжается, и на стадии научных разработок появляются новые варианты схем, имеющих более высокий эффект.

На схемах приняты следующие обозначения:

СВ – сточные воды, которые поступают в сооружение;

ОСВ – очищенные сточные воды;

НР – нитратный рецикл;

Р2 – рециркуляция денитрифицированной иловой смеси в анаэробную зону;

ЦАИ – циркуляционный активный ил;

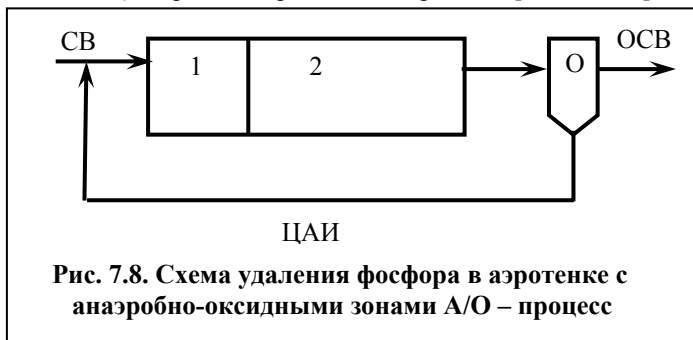
О – вторичный отстойник;

1 – анаэробная зона (имеет место при отсутствии в жидкости как растворенного кислорода, так и связанного кислорода нитритов и нитратов);

2 – аэробная зона (создается при аэрации смеси (если в жидкости присутствует растворенный кислород));

3 – аноксидная зона (обуславливается присутствием нитритов и нитратов и отсутствием молекулярного кислорода).

Схема дефосфотирования с анаэробной и оксидной зонами, А/О (Anaerobic/Oxic) – процесс, приведена на рис. 7.8 [80, 68, 103].



Недостатком этой схемы является денитрификация лишь незначительного количества нитратов и нитритов, образованных в процессе нитрификации, которые возвращаются в начало сооружения в составе рециркулирующего активного ила. Поэтому эффективность денитрификации, на наш взгляд, будет невысокой. Кроме того, NO_2 и NO_3 в составе обратного активного ила ингибируют процесс дефосфотирования. Эффект удаления соединений фосфора в приведенной схеме, в соответствии с [68], достигает 70%.

Схема так называемого модифицированного процесса Людчака-Этингера позволяет увеличить эффективность денитрификации путем устройства внутренней рециркуляции, которая заключается в возвращении иловой смеси из конца нитрификатора в начало денитрификатора (рис. 7.9)[69,81,82,83,84, 103].



Рис.7.9. Схема модифицированного процесса Людчака-Этингера с предварительной денитрификацией

Величина этого рецикла в разных литературных источниках разная: от 50% [82,83] до 200-500% [69] количества сточных вод, которые поступают на очистку.

По такой схеме был реконструирован четырехкоридорный аэротенк Люберецкой станции аэрации г. Москвы. Технологические параметры работы реконструированного аэротенка представлены в табл. 7.1[83].

Таблица 7.1. Технологические параметры схемы процесса Людчака-Этингера

Технологические показатели	Сточная вода	
	до очистки	после очистки
Расход сточной воды, м ³ /сут.	110000	-
Доза ила, г/л	2-2,3	-
Удельный расход воздуха, м ³ /м ³	1,4-1,5	-
Нитратный рецикл, % от количества сточных вод, поступающих на очистку	50	-
БПК ₅ , мг/л	60-100	3,1
N-NH ₄ , мг/л	15-23	0 - 0,1
N-NO ₂ , мг/л	нет данных	0,004 - 0,006
N-NO ₃ , мг/л	нет данных	8 - 8,5

Следует отметить, что прирост ила после переоборудования уменьшился на 10%. Выдвинуто две теории, которые поясняют данное явление: сокращение энергии, расходуемой на прирост, при переходе

на менее выгодный акцептор электронов (нитраты и нитриты) и углубление гидролиза загрязнений в условиях переменного кислородного режима [83].

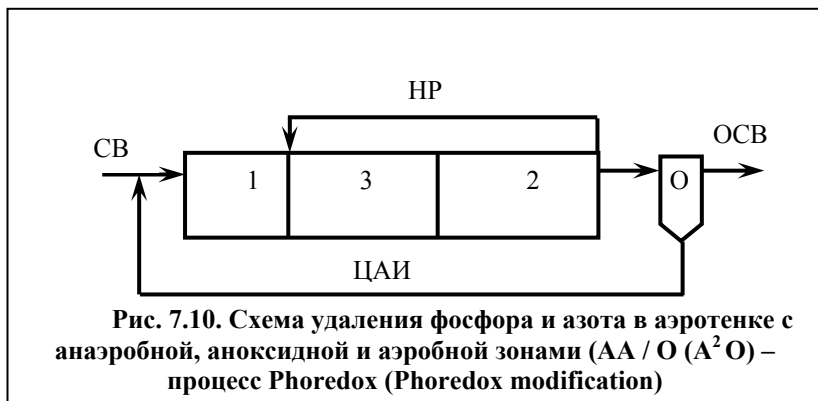


Схема процесса AA/O или A^2/O (Anaerobic Anoxic/Oxic) (в некоторых странах она имеет название Phoredox (Phoredox modification)) состоит из анаэробной, аноксидной и аэробной зон с рециркуляцией иловой смеси (100-300% [85] (50% [86])) из конца аэробной зоны в начало аноксидной (рис. 7.10).

Испытание такой схемы проводилось на исследовательской производственной установке Красносельской станции аэрации г. Санкт-Петербурга производительностью до 3600 м³/сут. Технологические параметры схемы A^2/O – процесса и результаты испытаний приведены в табл. 7.2 (в скобках даны технологические показатели схемы процесса AA/O, соответствующие качественным показателям выходной сточной воды, полученным в результате экспериментов на опытной установке и приведенным в нижней половине таблицы) [85,86].

Таблица 7.2. Технологические параметры схемы процесса АА/О

Технологический показатель	Сточная вода		
	вход		выход
Нагрузка по илу, гБПК ₅ /г б. в. сутки	0,15 - 0,25		-
Возраст ила, сут	4 - 27 (10 - 15)		-
Доза ила, г/л	2 - 4 (2,1 - 2,5)		-
Прирост ила, г/м ³	(0,03 - 0,06)		-
Иловый индекс, см ³ /г	(90 - 120)		-
Зоны:	ч	%	-
анаэробная	0,5 - 1,5	11 - 18	-
аноксидная	0,5 - 1,0	11 - 15	-
аэробная	3,5 - 6,0	70 - 78	-
Время пребывания, ч	4,5 - 8,5		-
Рецикл ила, %*	20 - 50 (50)		-
Нитратный рецикл, %*	100 - 300 (50)		-
Взвешенные вещества, мг/л	40 - 60		<5
БПК ₅ , мг/л	30 - 60		3 - 3,2
ХПК, мг/л	130 - 150		30 - 60
ХПК(фильтрованная проба), мг/л	70 - 80		30 - 50
N _{общ} , мг/л	15 - 16		5 - 6
N _{общ} (фильтрованная проба), мг/л	11 - 13		5 - 6
N-NH ₄ , мг/л	10 - 12		0,2 - 0,3
P _{заг} , мг/л	2 - 2,6		1,2 - 1,4
P _{заг} (фильтрованная проба), мг/л	1,3 - 1,6		1,2 - 1,4

* В процентах от расхода сточной воды, поступающей на очистку.

Схема с двухступенчатой подачей сточных вод предусматривает разделение сооружений на четыре части (рис.7.11)[81,87,88, 103].



По этой схеме были введены в эксплуатацию пять четырехкоридорных аэротенков Новолюберецкой станции аэрации г. Москвы. При этом 50% подачи поступающих сточных вод были направлены в первые коридоры, а другая часть в третьи [88]. Технологические параметры работы одного такого аэротенка приведены в табл. 7.3. Безусловным преимуществом этой схемы является отсутствие внутренних рециклов.

Таблица 7.3. Технологические параметры схемы с двухступенчатой подачей сточных вод

Технологический показатель	Сточная вода	
	до очистки	после очистки
Время пребывания в сооружении, ч, в том числе:	14,4	-
в нитрификаторах	9,65	-
в денитрификаторах	4,75	-
Удельный расход воздуха, м ³ /м ³	4,1	-
Рецикл активного ила, %	81,2	-
Доза оборотного ила, г/л	7,8	-
Иловый индекс на выходе, см ³ /г	81	-
Возраст ила, сут	>20	-
Взвешенные вещества, мг/л	80	5,7
БПК ₅ , мг/л	89	2,2
N-NH ₄ , мг/л	17,7	0,28
N-NO ₃ , мг/л	-	7,8
N _{общ} , мг/л	25,5	6,9
Фосфаты (по Р), мг/л	2,1	1,7
P _{общ} , мг/л	4,3	2,3

Развитием предыдущей схемы можно считать схему с трехступенчатой подачей сточных вод и многократным повторением аноксидных и аэрационных зон (рис.7.12)[69,80, 103]. Это, так называемая, схема процесса АЛЬФА.

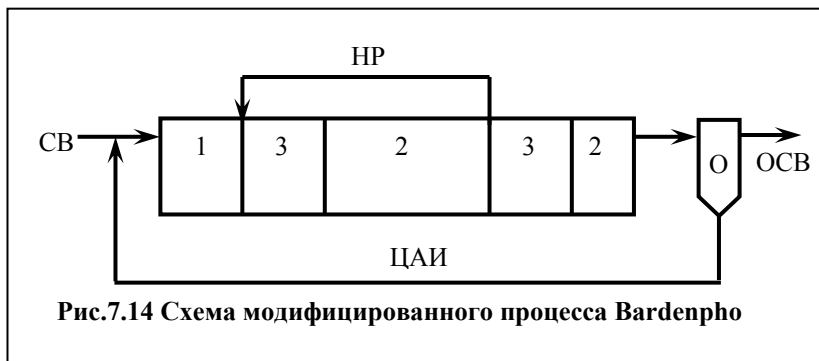


Анализируя эту схему можно, отметить следующий возможный её недостаток: в части второго и третьего денитрификатора сначала будет происходить снижение растворенного кислорода до необходимой для денитрификации концентрации ($<1\text{мг/л}$), что повлечет за собой увеличение объемов. Кроме этого, будет происходить разбавление концентрации форм азота, содержащегося в сточных водах, которые подаются во второй и третий денитрификатор и, как следствие, уменьшение скорости процесса. Положительной стороной этой схемы остается отсутствие внутренних рециклов.

Профессор Барнард и др. (ЮАР) предложили схему четырехступенчатого процесса Bardenpho (Barnard, Denitrification, Phosphorus), по которой очистка происходит путем последовательного прохождения сточных вод через денитрификатор и нитрификатор первой ступени и денитрификатор и нитрификатор второй ступени. Кроме этого, из конца первого нитрификатора в начало сооружения предусмотрена рециркуляция иловой смеси (рис. 7.13)[69,87,89, 103].



Следует отметить, что во второй аноксидной зоне денитрификация осуществляется за счет вне- и внутриклеточных накоплений не



окисленных органических веществ (в ходе эндогенной респирации ила). Понятно, что для интенсивной вторичной денитрификации необходимо достаточное количество субстрата, и поэтому эту и подобные схемы целесообразно применять при наличии большого количества веществ, которые медленно окисляются или примесей промышленного происхождения, которые требуют продолжительной трансформации перед биодеструкцией. Эта схема, в результате ее сравнения с помощью программы “Азот” со схемой, которая изображена на рис. 7.11 оказалась более эффективной. Однако, она является и более дорогой, поскольку здесь предусмотрен нитратный рецикл (в схеме с двухступенчатой подачей сточных вод он отсутствует), с увеличением которого показатели очистки по азоту улучшаются [87].

Развитием последней схемы является схема модифицированного процесса Bardenpho (рис.7.14)[68,85,89, 103].

Принципиальным отличием этой схемы от предыдущей является устройство анаэробной зоны перед первой аноксидной. Вследствие большой продолжительности очистки сточных вод (до 23 часов) здесь предполагается глубокое окисление аммонийного азота и значительная денитрификация [85]. Технологические параметры работы этой схемы приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Технологические параметры схемы процесса Bardenpho.

Технологический показатель	Значение	
Нагрузка по илу, гБПК ₅ /г б. в. сутки	0,1 - 0,2	
Возраст ила, сут	10 - 40	
Доза ила, г/л	2 - 5	
Зоны:	ч	%
анаэробная	1 - 2	8 - 11
аноксидная	2 - 4	17 - 21
аэробная	4 - 12	42 - 52
аноксидная	2 - 4	17 - 21
аэробная	0,5 - 1,0	4 - 6
Времы пребывания, ч	9,5 - 23,0	
Рецикл ила, % от расхода	50 - 100	
Нитратный рецикл, % от расхода	400	

Поскольку фосфаты и нитраты осуществляют взаимное ингибирующее влияние в анаэробной зоне, возникает необходимость в удалении нитратов из рециркулирующего активного ила. Такой вариант схемы был разработан Кейптаунским университетом и получил название UCT (University of Cape Town) – процесс (рис.7.15)[85,86,89,90, 103].

По этой схеме циркулирующий активный ил направляется в аноксидную зону, где осуществляется частичная денитрификация, и дальше, с помощью рецикла P2 перекачивается в анаэробную зону. В аноксидную зону возвращаются нитраты из аэробной с рециклом НР.



Рассмотренная схема была испытана на исследовательской промышленной установке Красносельской станции аэрации г. Санкт-Петербурга производительностью до 3600 м³/сутки. Технологические параметры схемы УСТ – процесса и результаты испытаний приведены в табл. 7.5 [85,86].

Таблица 7.5. Технологические параметры схемы процесса УСТ

Технологический показатель	Сточная вода	
	вход	выход
Нагрузка по илу, гБПК ₅ /г б. в. сутки	0,1 - 0,2	-
Возраст ила, сут	5 - 10 (6 - 40)	-
Доза ила, г/л	1,5 - 3,0 (1,5 - 3,8)	-
Прирост ила, г/м ³	(0,04 - 0,14)	-
Иловый индекс, см ³ /г	(70 - 150)	-
Зоны:	ч	%
анаэробная	1 - 2	22 - 25
аноксидная	1 - 2	22 - 25
аэробная	2,5 - 4,0	50 - 56
Время пребывания, ч	4,5 - 8,0	-
Рецикл ила, %*	50 - 100 (50 - 100)	-
Внутренний рецикл, %	200 - 400	-
Нитратный рецикл, %	(50 - 100)	-
Рециркуляция денитрифицированной иловой смеси в анаэробной зоне, %	(55 - 70)	-
Взвешенные вещества, мг/л	50 - 190	5 - 16
БПК ₅ , мг/л	40 - 130	2 - 12
ХПК, мг/л	100 - 320	30 - 80
ХПК (фильтрованная проба), мг/л	50 - 150	20 - 60
N _{общ} , мг/л	19 - 29	7 - 15
N _{общ} (фильтрованная проба), мг/л	15 - 23	6 - 12
N-NH ₄ , мг/л	13 - 19	0,2 - 9,8
P _{заг} , мг/л	2,5 - 5,3	0,6 - 1,8
P _{заг} (фильтрованная проба), мг/л	1,6 - 2,6	0,3 - 1,6

* В процентах от расхода сточной воды, поступающей на очистку

Примечание: в скобках даны технологические показатели схемы процесса УСТ, которые соответствуют качественным показателям выходной и очищенной сточной воды, полученные в результате экспериментов на опытной установке и приведенные в нижней половине таблицы

В дальнейшем схема была усовершенствована за счет деления аноксидной зоны на две части. Схема процесса модификации УСТ показана на рис. 7.16 [85,89,91, 103].



Рис.7.16. Схема процесса МУСТ

По этой схеме циркулирующий активный ил (ЦАИ) направляется в первую аноксидную зону, где осуществляется удаление нитратов из иловой смеси (денитрификация ила). Далее ил, лишенный значительного количества нитратов перекачивается в анаэробную зону, в которой происходит освобождение фосфора без ингибирующего влияния нитратов. Вторая аноксидная зона служит денитрификатором нитритов и нитратов, которые возвращаются в составе иловой смеси из аэробной части. Технологические параметры работы этой схемы приведены в табл. 7.6 [85].

Таблица 7.6. Технологические параметры схемы процесса МУСТ

Технологический показатель	Значение	
Нагрузка по илу, гБПК ₅ / г б. в. сут	0,1 - 0,2	
Возраст ила, сут	10 - 30	
Доза ила, г/л	2 - 5	
Зоны:	ч	%
анаэробная	1 - 2	9 - 11
аноксидная	2 - 4	18 - 22
аноксидная	2 - 4	18 - 22
аэробная	4 - 12	44 - 55
Время пребывания, ч	9 - 22	
Рецикл ила, % от расхода	50 - 100	
Нитратный рецикл, % от расхода	100 - 600	

Похожее технологическое решение принято в схеме ЖНВ (Johannesburg) [89, 103]. Циркулирующий активный ил (рис. 7.17) подается в аноксидную зону, которая расположена перед анаэробной частью.



В первой аноксидной зоне нитраты восстанавливаются за счет накопленных в иле загрязнений и не мешают освобождению фосфатов. Как видно, ликвидирована вторая перекачка ила, применяемая в системе УСТ.

Поддержание иловой смеси в аноксидных и анаэробных зонах рассмотренных схем во взвешенном состоянии может осуществляться с помощью низкооборотных мешалок, барботажа воздухом через дырчатые трубы, а также, с помощью разных гидравлических способов. Для аэрации аэробных частей аэротенков применяют пневматические, механические и другие аэраторы.

Кроме этого, для повышения эффекта очистки, коридоры аэротенков могут быть объединены в так называемые “карусели” [81,82, 104].

При реконструкции аэротенков путем внедрения вышеописанных схем следует учитывать рекомендации:

- время пребывания ила в аэротенке (возраст ила), во избежание вымывания нитрифицирующих организмов, которые характеризуются наименьшим среди биоценоза сооружений приростом, должен быть больше или, как минимум, равняться времени деления контролирующего процесс нитрификации бактерий. Возраст ила для разных условий может изменяться от 5 до 70 и больше суток [71];
- для нормального протекания процесса нитрификации концентрация растворенного кислорода должна поддерживаться на уровне 3-4 мг/л [92];

- для начала процесса нитрификации необходимо, чтобы концентрация органики в сточных водах была уменьшена до 100 мг БПК₅/л (существенным образом процесс проявляется при концентрации ≤ 20 мг БПК₅/л) [92];
- для нормального протекания процесса денитрификации концентрация растворенного кислорода не должна превышать 0,5 мг/л [80,92];
- для полноты удаления азота концентрация загрязнений по БПК должна быть приблизительно в четыре раза выше нитратного азота [71]. В процессе денитрификации могут окисляться разные органические вещества, в частности углеводы, органические кислоты (могут быть получены в результате кислого сбраживания осадка), аминокислоты, спирты, смолы и др. [71,93]. Как источник углерода могут быть использованы сточные воды многих предприятий (желательно тех, где не содержится аммонийный, органический и белковый азот), бытовые стоки, избыточный активный ил [69,71,80];
- вытеснение и следующее избыточное потребление фосфора начинается при концентрации в анаэробной зоне биоразлагаемых органических примесей по ХПК выше 25 мг/л.

Следует также добавить, что в результате расхождения оптимальных значений гН_2 среды для I (окисление аммонийного азота до нитритов) и II (окисление нитритов до нитратов) фаз нитрификации можно создать условия, при которых будет протекать только I фаза нитрификации. Это приведет к упрощению процесса, увеличению его скорости за счет исключения II фазы нитрификации и к сокращению потребности в кислороде для нитрификации в 1,4 раза. Кроме этого, на последующее проведение денитрификации с нитритами вместо нитратов будет расходоваться меньшее количество органического субстрата [60].

7.2.3. Оптимизация работы систем аэрации. Системы перемешивания

Благодаря системе аэрации осуществляется снабжение кислородом микроорганизмов активного ила, обеспечивается поддержание ила во взвешенном состоянии и равномерное распределение сточных вод и кислорода во всем объеме аэротенка.

При использовании в процессе интенсификации технологий (например, технологии биологического удаления азота и фосфора), согласно которым в аэротенке выделяют аноксидные и/или анаэробные зоны, последние для предотвращения оседания активного ила и

равномерного распределения загрязнений по объему аэротенка оборудуют системами перемешивания.

Для нормального протекания аэробных процессов очистки сточных вод (окисление органических веществ, нитрификация и др.) необходимо непрерывное и полное обеспечение микроорганизмов активного ила кислородом. Следует отметить, что получение необходимого эффекта от внедрения некоторых способов интенсификации (например, от повышения дозы активного ила) возможно лишь при удовлетворении возрастающих потребностей в кислороде биохимических процессов. При недостатке кислорода происходит нарушение обмена веществ в бактериальных клетках и снижение скорости окисления загрязнений. Считается, что для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила достаточна минимальная концентрация растворенного кислорода 1-2 мг/л. Кроме функции снабжения кислородом микроорганизмов, система аэрации должна обеспечивать достаточную интенсивность перемешивания иловой смеси для создания необходимой частоты обновления поверхности хлопьев активного ила, что увеличивает скорость диффузии субстрата и кислорода к бактериальным клеткам. Потребление электроэнергии на подачу кислорода в аэротенки составляет до 80% затрат электроэнергии на очистных сооружениях систем водоотведения [69].

Усовершенствование систем аэрации позволяет значительно повысить эффективность биохимической очистки, уменьшить эксплуатационные расходы и потребление электроэнергии.

Для оценки и сравнения разнообразных систем аэрации используют несколько показателей.

В общем случае в процессе биологической очистки сточных вод кислород расходуется на окисление органических веществ, конструктивный обмен и эндогенную респирацию, нитрификацию аммонийного азота, химическое окисление примесей, которые окисляются кислородом, создание некоторого запаса растворенного кислорода в очищенных сточных водах.

Общий расход кислорода, кгО₂/ч, может быть определен по формуле [69]:

$$O_2 = a(L_{en} - L_{ex})Q_{zoo} + bxa_iW + c(L_{en}^{NH_4} - L_{ex}^{NH_4})Q_{zoo}, \quad (7.1)$$

где a – удельный расход кислорода в процессе клеточного синтеза, кгО₂ на 1 кг удаленной БПК_{полн}; L_{en} и L_{ex} – БПК_{полн} соответственно неочищенных и очищенных сточных вод, кг/м³; Q_{zoo} – расход очищенных сточных вод, м³/ч; b – коэффициент эндогенной респирации, кгО₂ в час

на 1 кг биологически окисленного вещества активного ила; x – биологически окисленная часть активного ила, в долях единицы; a_i – доза ила в аэротенке, кг/м³; W – объем аэротенка, м³; c – удельный расход кислорода на окисление аммонийного азота, кгО₂ на 1 кг окисленного аммонийного азота; $L_{en}^{NH_4}$ и $L_{ex}^{NH_4}$ – концентрация аммонийного азота соответственно в неочищенных и очищенных сточных водах, кг/м³.

Согласно СНиП 2.04.03-85 [58], потребность в кислороде для биологической очистки устанавливается с помощью коэффициента q_0 – удельного расхода кислорода, кг О₂/кг БПК_{полн}:

$$M = (L_{en}^{NH_4} + L_{ex}^{NH_4}) Q_{зод} q_0. \quad (7.2)$$

Удельный расход кислорода при очистке городских и ряда промышленных сточных вод, а также их смесей, рекомендуется, как правило, принимать при неполной биологической очистке – 0,7-0,9 кгО₂/кгБСК_{полн}; при полной биологической очистке – 1,0-1,2 кг/кг и при глубокой минерализации и глубокой нитрификации – 1,5-2,4 кг/кг [61]. По СНиП [58] удельный расход кислорода для неполной и полной биологической очистки сточных вод составляет соответственно 0,9 и 1,1 кгО₂/кгБСК_{полн}. Для аэротенков с продленной аэрацией он принят равным 1,25 кгО₂/кгБСК_{полн}, при этом не учитывается потребление кислорода на нитрификацию аммонийного азота.

При увеличении массы активного ила, который принимает участие в биологических процессах очистки сточных вод возрастает потребность кислорода на эндогенное дыхание микроорганизмов. Такое увеличение при интенсификации систем аэрации можно учесть согласно формуле Эмде [59]:

$$M_0 = 0,5 \cdot L_{en} + 0,1 \cdot X_I \quad (7.3)$$

где M_0 – потребность в кислороде на биологическую очистку 1м³ сточных вод, кгО₂/м³; X_I – количество активного ила, принимающего участие в процессе очистки в расчете на 1 м³ очищенных сточных вод, кг/м³.

Следующим показателем, который характеризует систему аэрации, является окислительная способность системы аэрации (скорость растворения кислорода). Он показывает количество кислорода, растворяющегося в 1 м³ жидкости за 1 час, кг О₂/(м³ · ч), и определяется согласно формулы:

$$OC = K_a \cdot C_p, \quad (7.4)$$

где K_a – объемный коэффициент массопередачи, ч⁻¹; C_p – равновесная концентрация кислорода, кг/м³.

Величину окислительной способности системы аэрации практически определяет только объемный коэффициент массопередачи, поскольку растворимость кислорода в сточной воде изменяется довольно ограниченно.

Определить максимальный объем аэротенка, m^3 , который обеспечивает необходимую степень очистки заданного количества сточных вод, можно с помощью соотношения полной потребности в кислороде и окислительной способности системы аэрации:

$$W = \frac{M}{OC}. \quad (7.5)$$

Максимальная доза активного ила, $кг/м^3$, в аэротенке (по беззольному веществу) определяется по формуле:

$$a_i = \frac{OC}{q_0 \cdot \rho \cdot (1 - s)}. \quad (7.6)$$

Анализ приведенной зависимости (7.6) позволяет сделать несколько практических выводов:

- предельная концентрация активного ила в аэротенке, оборудованном системой аэрации с определенной окислительной способностью, определяется скоростью окисления загрязнений, то есть чем больше эта скорость, тем меньше может быть концентрация активного ила, и наоборот;
- увеличение дозы активного ила в аэротенке без соответствующего повышения окислительной способности системы аэрации приведет к недостатку кислорода и, в конечном итоге, к снижению окислительной мощности аэротенка.

В табл.7.7 для разных систем аэрации и типов аэраторов приведены максимальные концентрации активного ила в аэротенках [59].

Таблица 7.7. Максимальные расчетные концентрации активного ила в аэротенках при различных системах аэрации

Система аэрации и тип аэратора	Эффективность аэрации, кг O_2 /(кВт - ч)	Окислительная способность системы аэрации, кг O_2 /(м ³ *ч)	Максимальная концентрация активного ила в аэротенках, кг/м ³
Пневматическая аэрация:			
Мелкопузырчатая	2,2	0,05-0,07	2,9
Сренепузырчатая	1,4-1,8	0,03-0,05	2,1
Крупнопузырчатая	1,2	0,04-0,05	2,1
Механическая аэрация:			
Дисковый аэратор	2,7-3,0	0,10-0,15	6,2
Турбинный аэратор			
ТА-I	2,19	0,08	3,3
ТА-II	2,83	0,075	3,1
Импеллерный аэратор			
АИ-1м	1,8-2,14	0,09-0,16	6,6
С-16	2,1-2,5	0,09-0,33	13,7
Пневмомеханическая аэрация:			
Аэратор типа АМП	1,7-2,5	0,03-0,20	8,2
Пропеллерный аэратор конструкции ЛИСИ	1,7-2,3	0,02-0,60	более 20
Струйный аэратор (Германия)	2,5-5,0	0,2-3,0	более 20

При расчете значений табл.7.7, согласно СНиП 2.04.03-85 [58], принимались скорость окисления загрязнений 20 мг/(г*ч), зольность – 0,3, удельный расход кислорода – 1,1 кг/кг, дефицит кислорода и коэффициент качества сточных вод – 0,8.

Из табл. 7.7 видно, что возможности увеличения дозы активного ила при традиционно используемых пневматической аэрации и многих типах механических аэраторов очень ограничены.

Наличие в сточных водах ПАВ, а также повышенные концентрации активного ила ухудшают условия диффузии кислорода и суб-

страта к бактериальным клеткам. В этом случае при интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках акцент нужно делать на повышение объемного коэффициента массопередачи или увеличение окислительной способности системы аэрации.

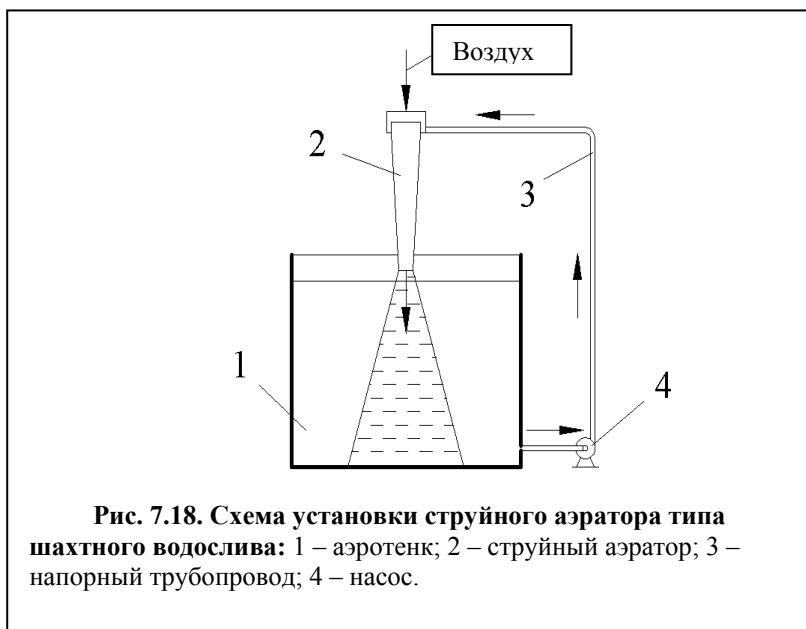
Основным способом повышения окислительной способности пневматической системы аэрации является увеличение площади, которую занимают аэраторы в плане аэротенка. При этом происходит улучшение гидродинамических условий в аэротенке с точки зрения увеличения скорости обновления поверхности разделения фаз, которая интенсифицирует процессы массообмена. Кроме того, несколько увеличить объемный коэффициент массопередачи можно, за счет повышения интенсивности аэрации. Но оптимальным вариантом является комбинация этих двух способов, то есть с увеличением расхода воздуха, который подается в аэротенк, нужно увеличить количество рядов аэраторов.

При использовании механической аэрации объемный коэффициент массопередачи можно увеличить путем сокращения объема аэротенка, который приходится на каждый механический аэратор.

Но при этом следует помнить, что такие сокращения (для предотвращения интенсивного пенообразования, резкого снижения эффективности аэрации, ухудшения условий перемешивания иловой смеси в аэротенке) возможны до определенного предела.

Согласно [59] при биологической очистке сточных вод в аэротенках с высокими дозами активного ила наиболее эффективны импеллерные и пневмомеханические аэраторы.

При использовании для очистки сточных вод аэротенков-смесителей с повышенными дозами активного ила довольно успешно могут использоваться струйные аэраторы (рис. 7.18), принципом работы которых является подсос атмосферного воздуха в аэротенк струей жидкости, которая движется с высокой скоростью (8-12 м/с).



К преимуществам струйных аэраторов относятся:

- высокая окислительная способность, которая достигает $3 \text{ кг O}_2/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ при высокой эффективности аэрации – $2,5\text{-}5 \text{ кг O}_2/(\text{квт} \cdot \text{ч})$;
- интенсивное перемешивание иловой смеси;
- простота конструкции аэраторов;
- возможность использования низконапорных насосов;
- высокая надежность системы;
- простота обслуживания.

В нашей стране в процессе биологической очистки чаще всего используются пневматические аэраторы, из которых наиболее эффективны мелкопузырьковые. Основное направление усовершенствования мелкопузырьковой аэрации состоит в создании аэраторов, стойких к засорению, а также таких, которые легко монтируются и демонтируются.

Распространены в отечественной практике пористые керамические аэраторы – это так называемые, фильтросные пластины или фильтросы. Обычно они представляют собой квадратные пластины

размером 300х300х35 мм из высушенной и обожженной смеси измельченного шамота (огнеупорная глина) с силикатом натрия и кремнефтористым натрием. Величина пор фильтросных пластин колеблется от 80 до 300 мкм, при этом средний диаметр пузырьков воздуха не превышает 2,4 мм, что обеспечивает большую площадь межфазового контакта, достаточную скорость движения пузырьков и оказывает содействие улучшению процесса диффузии кислорода в жидкость. Пропускная способность новой фильтросной пластины составляет 200 л/мин, а ее сопротивление – 210 мм вод. ст [69]. Преимуществами фильтросных пластин являются:

- хорошая диспергация воздуха;
- сравнительно небольшие затраты средств на изготовление и монтаж;
- не дефицитность материала.

Однако вместе с этим они имеют ряд существенных недостатков. К ним относятся:

- проблемы в получении однородного воздухораспределения при присоединении нескольких пластин к одному воздуховоду;
- быстрое засорение как с внешней стороны (активным илом), так и с внутренней стороны (ржавчиной), что приводит к увеличению их сопротивления, уменьшению пропускной способности, ухудшению распределения воздуха в иловой смеси;
- большая продолжительность монтажа, которая достигает нескольких месяцев для одного аэротенка;
- необходимость в специальных водосбросных стояках.

Также их отрицательной стороной является необходимость опорожнения целой секции аэротенка при замене пластин, которые оторвались.

Сложности, которые возникают при монтаже фильтросов, можно избежать при использовании фильтросных труб. В данное время в Украине выпускаются фильтросные трубы, которые соединяются друг с другом с помощью пластмассовых резьбовых соединений, размещенных на торцах труб [69].

Популярность на Западе приобрели трубчатые керамические аэраторы, которые собираются в секции длиной до 3,9 м (так называемая, система «Шумахер»). На 1 пог. м. аэратора устанавливается от 6 до 20 керамических трубок длиной 500 мм и диаметром 70 или 100 мм. В случае возникновения необходимости ремонта секция может выниматься с помощью специальных поворотных шарниров без опорожнения аэротенка (рис. 7.19).

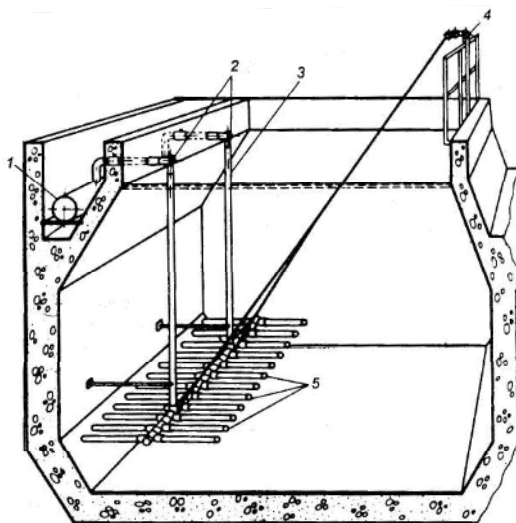


Рис. 7.19. Система аэраторов из пористых керамических труб «Шумахер»: 1 – магистральный воздуховод; 2 – шарниры; 3 – воздушные стояки; 4 – переносная лебедка; 5 – пористые трубы.

Перспективным является применение тканевых аэраторов трубчатой, тарельчатой и других форм. Во ВНИИ ВОДГЕО установлено, что при одинаковом качестве диспергированного воздуха тканевые фильтры приблизительно в 6 раз дешевле керамических и их регенерация осуществляется путем обычной стирки в растворе детергентов.

Представляет интерес конструкция диспергатора, выполненного в виде вертикального цилиндра, разделенного по высоте сетками.

В пространстве между сетками помещаются шарики из легкого материала, при этом диаметр шариков уменьшается по направлению потока воздуха (снизу вверх), в результате чего достигается нужная степень диспергации воздуха.

В последние годы стали широко использоваться полимерные аэраторы. В нашей стране такие аэраторы были разработаны и в настоящее время выпускаются научно-промышленной фирмой «Экополимер». К аэраторам, которые выпускаются этой фирмой, относится дисковый аэратор с эластичной мембраной АКВА-ПЛАСТ, дисковый аэратор АКВА-ТОР и трубчатые аэраторы АКВА-ПРО и АКВА-ЛАЙН.

Трубчатые аэраторы «Экополимер» состоят из опорного каркаса и диспергирующего покрытия. Общими признаками этих аэраторов является совмещение функций воздуховода и диспергатора, а также наличие каналов между опорным каркасом и диспергирующим покрытием. Аэраторы изготавливаются в виде отдельных элементов, которые соединяются между собой резьбовыми муфтами. На рис. 7.20 представлен трубчатый аэратор АКВА-ПРО.

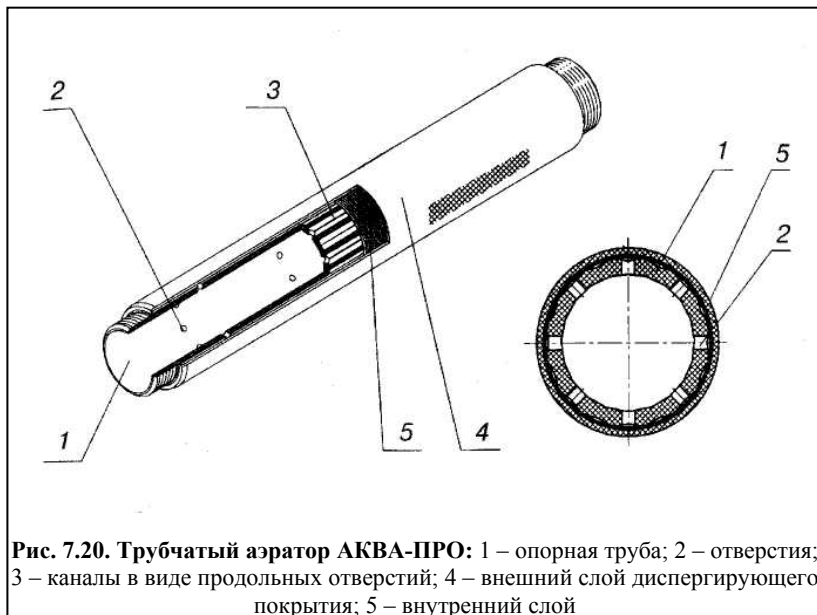


Рис. 7.20. Трубчатый аэратор АКВА-ПРО: 1 – опорная труба; 2 – отверстия; 3 – каналы в виде продольных отверстий; 4 – внешний слой диспергирующего покрытия; 5 – внутренний слой

Внешний слой 4 диспергирующего покрытия представляет собой пористую оболочку из полимерного материала, который имеет хаотически расположенные волокна, сваренные в точках взаимного сечения. Этот слой наносится путем пневмоэкструзии расплава полимера на внешнюю поверхность внутреннего пласта.

Трубчатые аэраторы фирмы «Экополимер» имеют оптимальный расход воздуха в диапазоне 12-20 м³/ч и малое сопротивление – 1,2-2,1 кПа.

Усовершенствование механических аэраторов, в основном, направлено на разработку надежных редукторов, жестких и крепких валов и рабочих колес.

Перспективным направлением является применение пневмомеханической аэрации, которая использует одновременно механическую энергию вращающегося ротора и подачу сжатого воздуха. Степень использования кислорода в таких системах достигает 20-25%, что в 2-2,5 раза выше, чем при пневматической аэрации. Наиболее известными конструкциями пневмомеханических аэраторов являются разработки фирм США – «Инфилко», «Дорр-Оливер» и «Пермутит».

Перемешивание иловой смеси в безкислородных условиях (аноксидная и анаэробная зоны) главным образом осуществляется с помощью механических мешалок. Внешний вид одной из таких мешалок приведен на рис. 7.21.

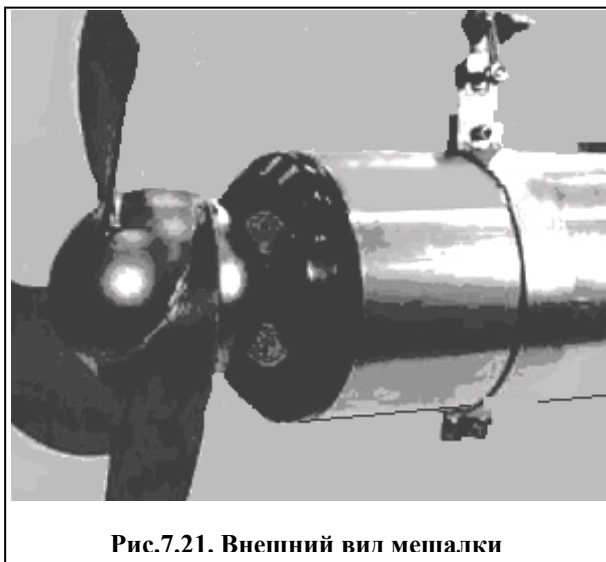
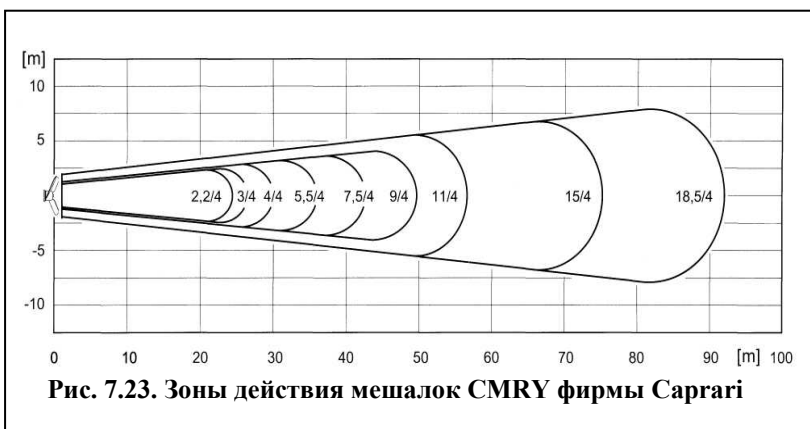
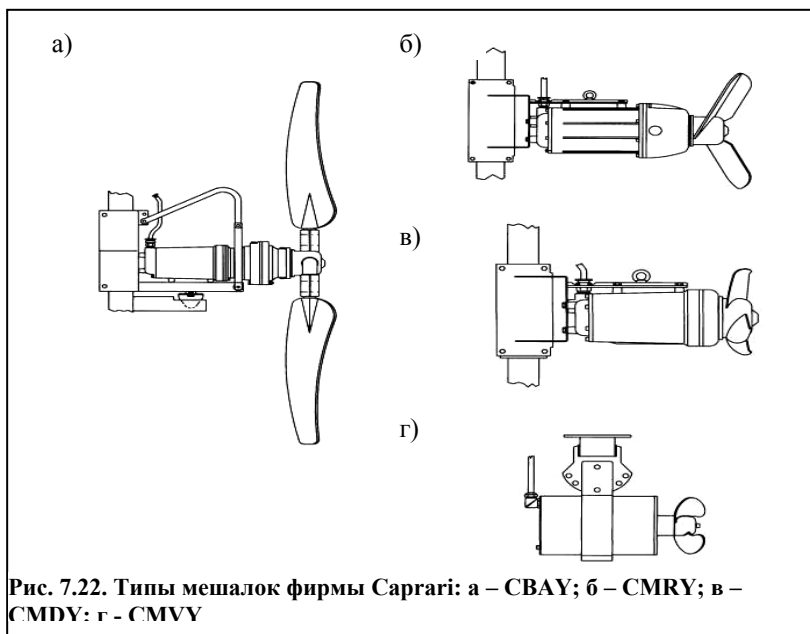


Рис.7.21. Внешний вид мешалки

Разработкой мешалок занимаются такие многие фирмы – Flygt, Wilo, Carrafi и др. Типы мешалок, которые выпускаются фирмой Carrafi, представлены на рис. 7.22.

На рис. 7.23 представлены зоны действия мешалок CMRY, в середине которых скорость движения иловой смеси является незаиливающей, то есть больше 0,3 м/с. Зная зону действия конкретной мешалки, можно рассчитать необходимое их количество для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии в аноксидных и анаэробных резервуарах.



Технические характеристики мешалок приведены в табл. 7.8, а схемы установки мешалки в коридоре азротенка и подъемное оснащение представлены на рис. 7.24.

Менее распространенным способом является перемешивание кислородом, который подают через дырчатые трубы в количестве, при

котором не происходит ингибирования процессов очистки кислородом.

Таблица 7.8. Технические характеристики мешалок CMRY

Тип мешалки	Диаметр пропеллера, мм	Мощность, кВт	Частота вращения мотора/пропеллера, об/мин	Расход, м ³ /ч	Вес, кг
CMRY-2.2-4-80	445	2,2	1420/323	1275	102,5
CMRY-3.0-4-80	460	3	1420/323	1462	103,5
CMRY-4.0-4-80	515	4	1405/320	2000	106,5
CMRY-5.5-4-100	535	5,5	1430/326	2162	161,5
CMRY-7.5-4-100	585	7,5	1440/328	2821	171,5
CMRY-9.0-4-100	595	9	1440/328	3013	176,5
CMRY-11.0-4-150	600	11,0	1450/351	3286	264,5
CMRY-18.5-4-150	780	18,5	1450/351	6702	274,5

Однако этот способ можно применять лишь в аноксидных условиях, поскольку в анаэробной зоне наличие даже небольшой концентрации растворенного кислорода недопустимо.

Известен также метод поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии за счет уменьшения площади живого сечения продольными перегородками. Количество таких перегородок в коридоре аэротенка рассчитывают, исходя из создания такой площади живого сечения, при которой скорость движения иловой смеси будет превышать незаиливающую скорость (0,3 м/с). При этом иловая смесь последовательно проходит созданные «узкие» коридоры.

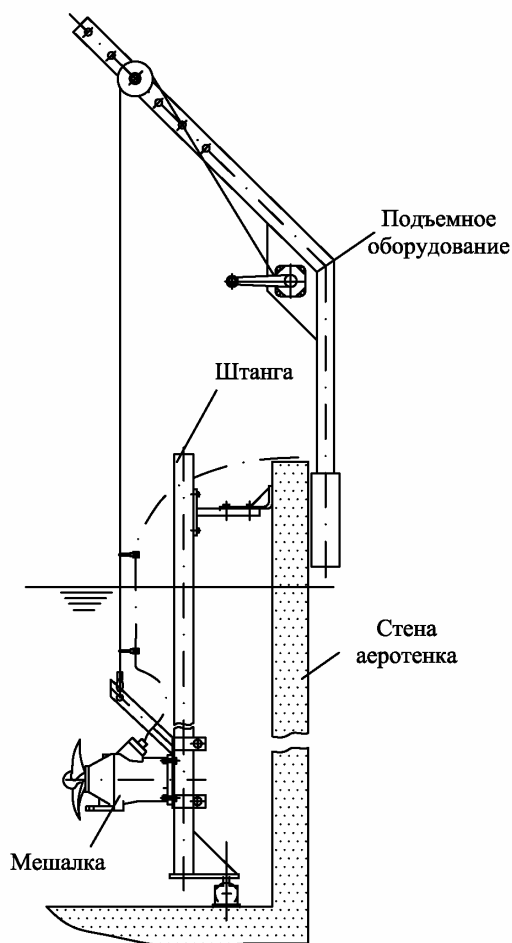


Рис. 7.24. Схема установки мешалки в коридоре аэротенка

Кроме того, возможно обеспечение перемешивания гидравлическим методом – с помощью затопленных изотермических струй. Исходя из условия, что хлопья активного ила не оседают при скорости движения больше $0,3 \text{ м/с}$, скорость возле стенки сооружения или в расчетном сечении должна иметь такую скорость. Схема расположения

спрысков может быть разной: 1) трубопровод укладывается на дно вдоль одной стенки коридора аэротенка, а spryski создают струи, пересекающие поток под прямым углом к его оси и взмучивающие его; 2) основной трубопровод укладывается вдоль оси потока по центру коридора аэротенка, а spryski направляются в обе стороны к стенкам. Возможно также расположение основного трубопровода возле стенки или по центру коридора, а от него укладываются ответвления со spryskami, которые создают струи, направленные вдоль потока. Описанные решения приведены на рис. 7.25.

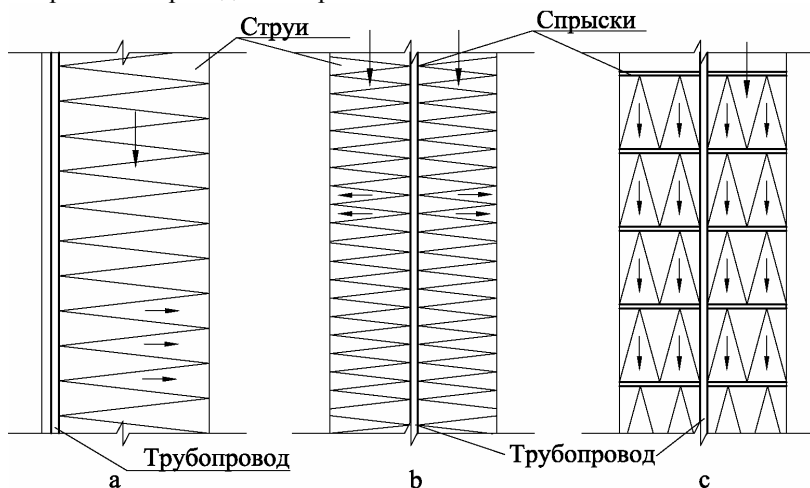


Рис. 7.25. Схемы размещения струй на дне коридора сооружения: а – с одной стороны; б – по центру коридора; в – вдоль основного потока.

Для определения параметров систем гидравлического перемешивания иловой смеси рассмотрим расчетные формулы, которые описывают закон изменения продольной скорости струи и ее поперечных размеров. На рис. 7.26 представлена схема истечения изотермической струи из spryska.

На схеме (рис. 7.26) приняты следующие обозначения: d_0 – диаметр spryska; V_0 – скорость истечения жидкости; l – длина компактной части струи; d и V – соответственно диаметр струи и скорость в сечении на расстоянии l от отверстия истечения. Скорость V , как уже отмечалось, равняется 0,3 м/с.

Для определения скорости истечения жидкости из sprыска с учетом эффекта подсосывания окружающей жидкости в тело струи, что оказывает содействие лучшему перемешиванию, целесообразно использовать формулу (7.7) [100].

$$V_0 = \frac{V}{d_0} 0.164l. \quad (7.7)$$

Исходя из схемы, изображенной на рис. 7.26, можно определить диаметр компактной части струи d на расстоянии l от насадка по формуле:

$$d = d_0 + 2l \operatorname{tg} \alpha = d_0 + 0.45l. \quad (7.8)$$

Диаметр sprыска d_0 может быть принят 25-50 мм. Расход жидкости из sprыска q_0 для создания необходимой скорости истечения струи V_0 при принятом диаметре sprыска d_0 определяется по уравнению неразрывности потока:

$$q_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot V_0}{4}. \quad (7.9)$$

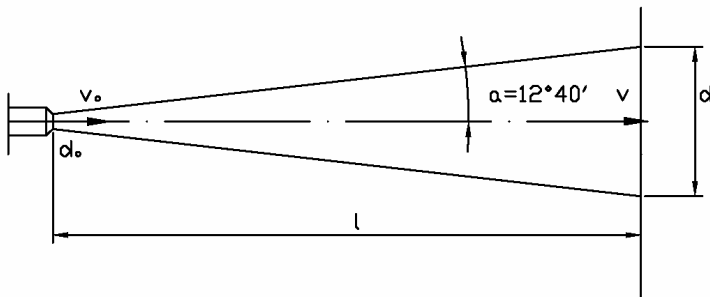


Рис. 7.26. Схема истечения изотермической струи из sprыска

Перед насадкой для создания необходимой скорости V_0 необходимо иметь напор H , определяемый по формуле:

$$H = h_{\text{эл}} + \frac{V_0^2}{\mu^2 2g}, \quad (7.10)$$

где $h_{\text{эл}}$ – глубина расположения насадка (глубина воды в сооружении), м; μ – коэффициент расхода насадка, который с учетом эффекта отделения расхода от основного потока, может быть принят 0,7...0,75.

В целом гидравлический способ характеризуется большей надежностью и долговечностью по сравнению с механическим, поскольку при перемешивании затопленными струями применяется значительно меньше вращающихся частей, чем при перемешивании мешалками. Положительными сторонами гидравлического способа также являются значительно меньшие капитальные затраты, более высокая степень перемешивания. Недостатком перемешивания затопленными струями являются большие по сравнению с перемешиванием мешалками эксплуатационные затраты [94]. Для устройства системы гидравлического перемешивания иловой смеси можно использовать внутренний рециркуляционный расход, предусмотренный по технологической схеме (например, внутренняя рециркуляция нитратов и нитритов из аэробной зоны в безкислородную схем процессов JNB, A/O, UCT и др.). В этом случае затраты на перемешивание существенно снижаются.

Контрольные вопросы

1. Когда возникает необходимость реконструкции аэрационных сооружений?
2. Какие существуют способы интенсификации аэрационных сооружений?
3. Как осуществляется увеличения массы активного ила в аэрационных сооружениях?
4. Какие известны технологические схемы биологического удаления азота и фосфора из сточных вод?
5. Каким образом можно осуществить интенсификацию работы системы аэрации?
6. Какие существуют основные способы повышения окислительной способности пневматической аэрации?
7. Какие аэраторы наиболее эффективны при высоких дозах активного ила?
8. Какие существуют основные способы перемешивания иловой смеси в аэротенках?
9. В чем состоит гидравлический способ перемешивания?

7.3. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ

В настоящее время большинство водоемов классифицируется как водоемы рыбохозяйственного назначения. В связи с этим качество очистки сточных вод, поступающих в водоем, должно отвечать качеству воды в рыбохозяйственных водоемах без учета разбавления. Тем более, что на расстоянии это разбавление будет очень маленьким и не существенным[95].

Действующие городские очистные сооружения, построенные по традиционной технологической схеме (полная биохимическая очистка, в некоторых случаях с доочисткой) не обеспечивают нормативного качества воды. В таких случаях возникает необходимость разработки методов реконструкции существующих сооружений, которые позволяют очистить городские сточные воды до установленного нормативного качества, а также максимально использовать существующие сооружения без их расширения из-за отсутствия необходимых площадей.

При разработке технологии реконструкции решаются следующие задачи:

- максимально возможное удаление загрязнений промышленного происхождения на локальных очистных сооружениях;
- разработка методов интенсификации работы очистных сооружений;
- минимальное увеличение объемов существующих сооружений и дополнительных ступеней очистки.

Уменьшение количества загрязнений, поступающих с производственными сточными водами решается путем разработки и введения в действие «Правил приема производственных сточных вод в систему канализации» для конкретного города, в которых приведены ПДК веществ производственного происхождения. В то же время не всегда возможно обеспечить нормативный сброс загрязнений в водоем без дополнительной очистки.

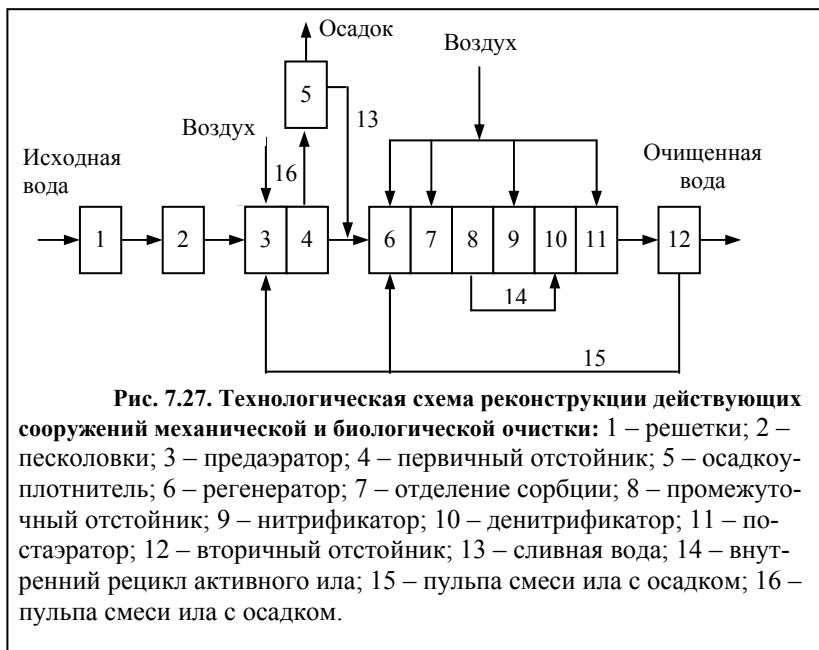
Интенсификация работы очистной станции состоит в повышении эффективности работы всех сооружений технологического процесса. При интенсификации работы сооружений механической очистки последовательно, от сооружения к сооружению вносятся определенные усовершенствования. Так, для стандартных механических решеток с прозорами 16 мм разработаны новые процеживатели из холста с прозорами 4-6 мм, которые не изменяют расходные и напорные характеристики. Применение таких процеживателей позволяет увели-

чить эффективность очистки от грубодисперсных механических примесей в 5-7 раз, уменьшить нагрузки на очистные сооружения, а также улучшить структуру осадков и уменьшить их количество. Утилизацию отбросов, которые задерживаются на процеживателях, осуществляют вместе с городским мусором. Также разработан метод получения из них сорбционного материала (заключается в использовании средне-температурного пиролиза) с дальнейшим использованием полученного сорбента для доочистки сточных вод.

Улучшение работы первичных отстойников связано с увеличением эффекта осветления сточных вод, а также с уменьшением объема и стабилизацией качества задержанного сырого осадка. Для интенсификации первичного отстаивания сточных вод, которые поступают на первичные отстойники, добавляют весь объем избыточного активного ила. Известно, что активный ил имеет коагуляционные и биосорбционные свойства и при совместном оседании с частицами взвешенных веществ, увеличивает эффективность осветления сточных вод по взвешенным веществам до 70% и по БПК до 40% [95]. В этом случае зону уплотнения осадка необходимо переносить в отдельно расположенное сооружение. При постоянном откачивании из отстойников смеси осадка с избыточным активным илом с концентрацией до 4 г/л в отдельно расположенный осадкоуплотнитель уменьшается количество осадка для дальнейшей обработки. Использование такого технологического метода уменьшает суммарный объем осадков на станции аэрации на 30...40% за счет снижения суммарной влажности с 96 до 94,5% при общем их уплотнении. Для уплотнения смеси используют существующие илоуплотнители, а при их отсутствии на станции аэрации, следует их построить в районе расположения сооружений механической очистки.

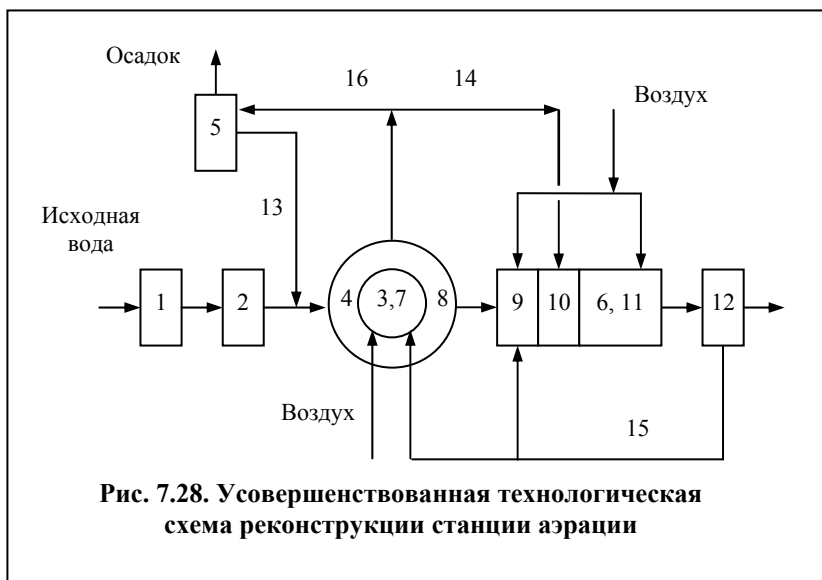
На стадии биохимической очистки, как показывают исследования [95], можно осуществить двухстадийный процесс нитроденитрификации в существующих объемах сооружений. Для интенсификации процесса нитрификации используют прикрепленный биоценоз. Технологическая схема механической и биологической очистки представлена на рис.7.27.

Изображенная на рис. 7.27 технологическая схема реконструкции существующих станций аэрации довольно сложна для воплощения из-за трудностей переоборудования аэрационных сооружений.



Авторы [95] предлагают усовершенствованную схему реконструкции, которая представлена на рис. 7.28. Условные обозначения те же, что и на рис. 7.27.

В усовершенствованной схеме процессы предаэрации и сорбции совмещены в центральной части первичного отстойника, а процессы первичного и промежуточного отстаивания – в периферийной части. В этом случае объем первичного отстойника достаточен для осуществления этих процессов, поскольку для первых двух достаточно 0,5 часа, а для двух последующих – 1 ч. В этом случае значительно упрощается процесс реконструкции аэрационных сооружений: для одностадийного процесса нитро-денитрификации не нужны практически никакие существенные изменения конструкции аэротенков; для реализации двухстадийного процесса необходимо аэротенки поделить на три зоны – нитрификатор (конструкция не изменяется), денитрификатор, где следует установить механические смесители и постаэрактор-регенератор, где конструктивно также ничего не изменяется.



Для применения прикрепленных биоценозов необходимо только реактор–нитрификатор заполнить кассетами из инертного объемного заполнителя, который выпускается промышленностью. Реализация такой технологической схемы позволяет одновременно изъять из сточных вод 40...50% фосфатов и получить следующие показатели качества очищенных сточных вод, мг/л: взвешенные вещества ≤ 5 ; БПК₅ ≤ 4 ; ХПК ≤ 35 ; N-NH₄ -0,5...1,5; N-NO₃ ≤ 9 ; P_{фосфатов} ≤ 1 .

Учитывая наличие в очищенных городских сточных водах специфических органических и неорганических компонентов производственного происхождения, необходимо осуществлять доочистку сточных вод. В качестве сооружения доочистки можно применять биореактор с прикрепленной биопленкой, оборудованный специальным инертным носителем для прикрепления микроорганизмов с дополнительно внесенными сорбционными материалами. Такими могут быть стандартные мелкодисперсные сорбенты, а также пиролизично обработанные органические осадки сточных вод (отбросы с решеток). Применение биореакторов такого типа позволяет осуществлять одновременно биосорбцию остаточных загрязнений на прикрепленной биопленке и хемосорбцию на поверхности сорбента.

Анализ работы действующих коммунальных очистных сооружений биологической очистки сточных вод на территории Украины,

осуществленный специалистами Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института городского хозяйства Украины под руководством к.т.н. Давиденко О.И. позволил сделать определенные обобщения и рекомендовать методы интенсификации работы сооружений биологической очистки, которые приведены в табл. 7.9.

Таблица 7.9. Рекомендации по использованию существующих методов интенсификации работы действующих станций очистки сточных вод с целью обеспечения необходимого качества очистки

Произ- води- тель- ность, м ³ /сут	Сущест- вующие сооруже- ния	Приемы интен- сификации	Способ реализации метода интенсификации	Эффективность применения метода
1	2	3	4	5
до 1,0 до 10,0 до 50,0	Биофилт- ры:	1. Рециркуляция очищенной сточной воды в биофильтр	Оборудование сетями для по- вторной подачи очищенной сточной воды вместе с неочи- щенной	Повышение эффекта очистки за счет уменьшения концентрации загрязне- ний на входе. Уменьшение объемов сооружений
	Капельные	2. Применение новой загрузки	Конструктивное оформление загрузки в виде объемных блоков из инертных материалов с разви- той удельной поверхностью	Обеспечение показателей глубокой биологической очистки по соедине- ниям азота. Повышение на 50% пропускной спо- собности сооружений
	Засыпные			
	Высокона- гружаемые	3. Использо- вание принуди- тельной венти- ляции	Увеличение количества или мощности вентиляторов, обеспе- чивающих подачу воздуха в ме- ждудонное пространство	Повышение качества очистки сточ- ных вод, вследствие улучшения кон- такта биопленки с кислородом возду- ха

1	2	3	4	5
		4. Внедрение технологии двухступенной биофильтрации	Оборудование сооружений до полнительными технологическими линиями подачи сточных вод и рециркуляционными контурами к первой ступени	Повышение качества очистки от углерод- и азотсодержащих соединений
		5. Повышение скорости фильтрации	Применение легких гранулированных материалов; внедрение восходящего потока сточных вод; объединение аэробно-анаэробных зон в теле биофильтра	Повышение эффекта нитрификации. Увеличение мощности сооружения
		1. Замена существующих механических аэраторов	Демонтаж старого оборудования и установка систем пневматической аэрации. Применение эрлифтов для осуществления циркуляции активного ила	Снижение затрат электроэнергии. Улучшение условий эксплуатации
10,0-40,0	Аэроакселераторы	2. Внедрение иммобилизованной биомассы	Оборудование зоны осветления кассетами с загрузкой	Уменьшение выноса взвешенных веществ, обеспечение условий глубокой биологической очистки
		3. Применение флокулянтов	Оборудование сооружения дозирующими баками и сетями подачи флокулянта в зону осветления	Создание условий для предотвращения „вспухания” активного ила; Повышение качества очистки по БПК, ХПК и общему азоту

1	2	3	4	5
10,0-40,0	Емкостные блоки	1.Повышение степени массо-обмена	1. Замена фильтросных пластин на аэраторы типа „Полимер”	Повышение качества очистки и гидравлической нагрузки за счет создания оптимальных условий по кислороду и рационального использования реакционных объемов
			2. Оборудование аэробного стабилизатора иловой трубой для выпуска ила под гидростатическим давлением и дальнейшим его возвращением в зоны аэротенков	Повышение биологических свойств активного ила. Снижение прироста избыточной биомассы.
		2. Улучшение условий эксплуатации отдельных узлов блока	1. Замена эрлифтов отстойников на трубы для удаления осадка и ила под гидростатическим давлением	Уменьшение выноса взвешенных веществ. Устранение негативного влияния гниения осадка в первичных отстойниках на последующую биологическую очистку.
			2. Оборудование отстойников устройствами для удаления ПАВ	Улучшение качества биологической очистки.

1	2	3	4	5
		3. Применение иммобилизованной биомассы	Оборудование вторичных отстойников кассетами с загрузкой (ерши, ресницы и др.)	Достижение степени глубокой биологической очистки, создание условий для удаления азота и фосфора. Повышение гидравлической нагрузки.
		4. Применение флокулянтов	Оборудование блоков для подачи флокулянта во вторичный отстойник, зоны обработки осадка или непосредственно в аэротенк	Улучшение качества очистки воды по органическим и биогенным загрязнениям. Уменьшение на 50% выноса взвешенных веществ. Уменьшение прироста избыточной биомассы. Улучшение условий эксплуатации зоны аэротенк-отстойник за счет стабильной работы блоков обработки осадка.
до 50,0	Аэротенки-отстойники	1. Улучшение массообмена в объеме сооружения	Применение эффективных систем аэрации (струйных, эжекторных, диффузорных)	Увеличение пропускной способности. Повышение качества очистки.

1	2	3	4	5
		2. Применение иммобилизованной биомассы	Оборудование отстойной зоны пакетами с загрузкой или носителями	Достижение степени глубокой биологической очистки.
8,0-100,0	Контактно-стабилизационные аэротенки	1. Применение метода чередования аэробно-анаэробных условий	Демонтаж части разделительной перегородки и создание условий циркуляции иловой смеси за сет оборудования сооружения струенаправляющими стенками	Обеспечение высокого качества биологической очистки по БПК, взвешенным веществам, общему азоту. Снижение энергозатрат. Повышение пропускной способности.
5,0-400,0 и более	Коридорные аэротенки (вытеснители, смесители, с рассредоточенной подачей)	1. Включение в технологическую схему дополнительного циркуляционного контура	Возвратный активный ил перемешивается и интенсивно аэрируется в отдельном сооружении или части аэротенка, оборудованной мешалкой	Повышение качества очистки по взвешенным веществам. Устранение вспухания активного ила.
		2. Разделение возвратной иловой смеси, поступающей в аэротенк	Включение в технологическую схему узла фильтрования между вторичным отстойником и аэротенком.	Улучшение условий эксплуатации оборудования. Уменьшение объемов сооружений. Повышение степени удаления азотсодержащих соединений.

1	2	3	4	5
		3. Применение систем периодического действия (для сооружений небольшой мощности)	Обеспечение циклической подачи сточной воды и периодической аэрации.	Экономия строительных объемов сооружений. Снижение негативного влияния колебания начальных концентраций загрязнений и расходов сточных вод.
		4. Распределение подачи сточной воды в аэротенки (для аэротенков-вытеснителей).	Из технологической схемы исключается регенератор, сточная вода подается в первый и третий, или в первые два коридора сквозь существующие шибера.	Уменьшение прироста избыточной биомассы на 30%. Уменьшение расходов электроэнергии. Повышение пропускной способности на 25%.
		5. Применение технологии аэробно-аноксидной очистки: - с включением денитрификатора в начале аэротенка;	В качестве денитрификатора используются существующие преаэраторы или часть первого коридора аэротенка	Повышение эффекта очистки по БПК до 96-99%, нитратному азоту – 99%, общему фосфору – 85%. Снижение затрат на аэрацию - 10%.

1	2	3	4	5
		- с включением денитрификатора в середине или конце аэротенка	Зона денитрификации составляет 20% от общего объема сооружения, концентрация растворенного кислорода не превышает 2,0 мг/л	Эффект очистки по БПК составляет 98%, ХПК – 95%, азоту – 85%, фосфатам – 96%. Снижение удельного расхода электроэнергии достигает 23%. Снижение расхода флокулянтов -70%.
		6. Применение процессов нитри – денитрификации без первичных отстойников	Первичные отстойники используются как сооружения для удаления биогенных соединений, механическая очистка осуществляется на решетках и сетках	Повышение качества очистки по азотсодержащим загрязнениям. Повышение мощности сооружений биологической очистки.
		7. Применение иммобилизованной биомассы при аэробной очистке	Монтаж полужатопленной загрузки.	Повышение эффективности биологической очистки за счет поддержания высоких доз активного ила. Качественное удаление азота

1	2	3	4	5
		8. Конструктивное усовершенствование аэрационного оборудования сооружений	Применение систем струйной аэрации в комплексе со струенаправляющими перегородками	Увеличение окислительной мощности на 50%.
			Монтаж аэрационных систем на основе пористых и тканевых элементов (аэраторы типа „Полимер“)	Уровень использования кислорода повышается на 50%. Мощность сооружений увеличивается в 1,1-1,2 раза
			Соблюдение оптимальных требований при монтаже диффузорных аэраторов (глубина погружения 4,5м)	Улучшение аэродинамических условий и, как следствие, повышение качества очистки.
		9. Применение флокулянтов	Подача флокулянта с рабочей дозой 0,2-1,0 мг/л в аэрационный объем или в поток возвратного ила	Эффект удаления БПК и взвешенных веществ увеличивается на 50%. Затраты на аэрацию снижаются на 20%. Степень удаления нитратов, азота аммонийного и фосфатов повышается до нормативов глубокой очистки.

1	2	3	4	5
1,4-280,0	Аэротенки осветлители	1. Использование тонкослойных модулей и кассет с загрузкой	Монтаж носителей биомассы в зоне осветления сооружения	Улучшение эффекта осветления в 2-3 раза. Увеличение гидравлической нагрузки на сооружение.
		2. Работа сооружений в двухступенном режиме работы	Дополнение схемы трубопроводами подачи сточных вод и циркуляционными контурами активного ила	Удаление неорганических форм азота на 98-99%. Снижение прироста активного ила.
		3. Установка систем аэрации	Монтаж аэраторов типа „Полимер”	Оптимальные условия для образования слоя активного ила во взвешенном состоянии, улучшение качества очистки.
		4. Применение флокулянтов	Подача небольшой дозы флокулянта (до 1,0 мг/л) в зону осветления	Достижение глубокой очистки по биогенным и органическим загрязнениям без строительства сооружений доочистки.
15,0-400,0	Вторичные отстойники	1. Применение узла биофильтрации	В отстойнике по периметру монтируют тонкослойные модули. Воздух подается снизу компрессором, смонтированном на вращающейся раме.	Повышается степень очистки от биогенных и органических элементов.

1	2	3	4	5
		2. Подключение реактора денитрификации	Монтаж в сооружении барабана, который вращается горизонтально с загрузкой для создания денитрификационной биомассы.	Снижение нитратов на конечной стадии очистки и обеспечение условий для удаления фосфатов.
		3. Улучшение условий эксплуатации за счет использования реагентов	Флокулянт при рабочей дозе не более 1,0 мг/л подается в сооружение вместе с иловой смесью. Дополнительно монтируется оборудование для приготовления и дозирования раствора флокулянта.	Повышается гидравлическая нагрузка сооружения. Снижается возможность вспухания активного ила. Степень очистки от взвешенных веществ увеличивается до 98,8%, а уплотнения активного ила – до 94%.
до 10,0	Двухъярусный отстойник	1. Реконструкция сооружения с использованием системы струйной аэрации	Переоборудование отстойника в комбинированное сооружение с зоной аэрации и зонами осветления в отстойных желобах. В центре монтируется струйный аэратор шахтного типа	Увеличение производительности очистной станции. Повышение качества очистки сточных вод.

1	2	3	4	5
5,0-6,0	Биопруды	1. Использование высшей водной растительности	Создание условий для жизнедеятельности нитчатых водорослей, микроводорослей путем применения эрлифтной аэрации, рециркуляции, периодической подачи воды	Повышение эффекта удаления азота до 2 г/(м ² ·сутки). Удаление солей тяжелых металлов.
		2. Повышение концентрации растворенного кислорода	Монтаж механических аэраторов разных типов	Повышение эффекта очистки сточных вод

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решаются при разработке технологии реконструкции очистных сооружений водоотведения города?
2. В чем состоит интенсификация очистной станции?
3. Приведите примеры усовершенствования технологической схемы станции аэрации.
4. Приведите существующие приемы интенсификации работы существующих сооружений очистки сточных вод и их эффективность.

8. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

На станциях очистки сточных вод образуются сырые осадки – в первичных отстойниках и во вторичных отстойниках, в зависимости от сооружений биохимической очистки – биопленка после биофильтров или активный ил после разных типов аэротенков. Обработке и обезвреживанию подлежит все количество сырого осадка и избыточного активного ила (или биологической пленки).

Осадки, образующиеся на станциях очистки, относятся к иловым суспензиям и тяжело фильтруются. Их обработка усложняется большими объемами, высокой влажностью, неоднородностью состава, наличием большого количества органических соединений, быстро разлагающихся и гниющих с образованием коллоидных систем и неприятного запаха, а также наличием в их массе бактериальной микрофлоры и яиц гельминтов. На станциях биологической очистки сточных вод количество осадков, которые удаляются со средней влажностью 96%, составляет от 0,5 до 1,0 % притока сточных вод в зависимости от концентрации загрязнений. При применении физико-химических методов очистки количество осадков может быть еще большим. Осадки из первичных отстойников (сырые осадки) очень разнообразны по химическому и гранулометрическому составу, что вызвано составом и концентрацией загрязнений сточных вод, конструкцией и условиями эксплуатации сооружений.

В свежем сыром осадке первичных отстойников масса частиц размером 7-10мм составляет 5-20%, размером 1-7мм – 9-33% и разме-

ром меньше 1 мм – 50-88% общей массы сухого вещества осадка. Сброженный в метантенках осадок по сравнению со свежим имеет более мелкую однородную структуру, число частиц меньше 1мм в нем составляет в среднем 85%. Сырой осадок содержит канцерогенные и токсические вещества, в том числе соли тяжелых металлов, ПАВ, а также значительное количество разнообразных микроорганизмов (патогенные бактерии, вирусы, водоросли, простейшие, яйца гельминтов и т.п.). В твердой фазе осадка содержится до 75% органических веществ.

В активном иле число частиц размером меньше 1мм достигает 98%, размером 1-3 мм – 1,6%, больше 3 мм – 0,4% массы сухого вещества активного ила. Активный ил содержит значительное количество аэробных бактерий. Органическая часть ила состоит из веществ белкового происхождения (до 50%), жиров (до 20%) и углеводов (до 8%). Количество избыточного активного ила составляет до 100-160 граммов сухого вещества на 1м³ очищаемых сточных вод. Таким образом, при влажности 99,4-99,6% его суточная масса будет составлять 2,5-3% суточного расхода сточных вод.

В органической части сырого осадка содержание белков в 1,8-2,2 раза меньше, а углеводов в 2-3 раза больше, чем в активном иле.

Органическая часть осадков сточных вод быстро загнивает, образуя неприятный запах. Наличие коллоидных и мелкодисперсных веществ органического происхождения обуславливает высокое содержание в осадках связанной воды и плохую их влагоотдачу при обезвоживании.

В качестве критерия, который учитывает изменение состава и свойств осадков, принято удельное сопротивление осадков фильтрованию (табл. 8.1). Удельное сопротивление зависит от химического и гранулометрического состава осадков, их концентрации, формы связи влаги с твердыми частицами и других факторов. Учитывая, что этот критерий является обобщающим показателем, он позволяет сравнивать осадки по водоотдаче и определять методы подготовки и производительность аппаратов механического обезвоживания.

Таблица 8.1. Удельное сопротивление осадков [67].

№	Тип осадков	Влажность, %	Удельное сопротивление, $\times 10^{10}$ см/г
1.	Сырой осадок из первичных отстойников: - преобладание промышленных сточных вод - преобладание бытовых сточных вод	91,0...96,0 94,0...97,0	50...300 150...450
2.	Неуплотненный активный ил	99,2...99,6	150...710
3.	Уплотненный активный ил	96,8...97,5	720...1000
4.	Смесь сырого осадка и неуплотненного активного ила	96,0...97,0	320...1000
5.	Смесь сырого осадка и уплотненного активного ила	95,5...97,0	600...800
6.	Осадки, сброженные в термофильных условиях	-	3900...10000
7.	Осадки, сброженные в мезофильных условиях	-	350...6700

Данные табл. 8.1 свидетельствуют, что при уплотнении избыточного активного ила значительно уменьшаются объемы осадков, но это приводит к интенсивному образованию коллоидных веществ и резкому увеличению удельного сопротивления фильтрации.

Органические соединения в осадках можно рассматривать как энергообразующие вещества. Теплообразовательная способность осадков определяется элементарным составом сухого вещества и влагосодержанием. В перерасчете на сухое вещество теплообразовательная способность осадков приведена в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Теплотворная способность осадков

№	Тип осадка	Теплотворная способность в перерасчете на сухое вещество, МДж/кг	Влажность, %
1.	Сырой осадок из первичных отстойников	18...22	96...97,5
2.	Уплотненный активный ил	15...18	96,5...98

В технологических схемах, где в качестве химических реагентов для очистки сточных вод используются минеральные коагулянты в виде солей алюминия или железа, образующийся осадок состоит из органических и минеральных веществ, флокулированных гидроокисями алюминия или железа в хлопья, которые определяют общие свойства осадков.

Исходя из характеристики осадков, можно определить эффективные технологические схемы обработки осадков при создании новых сооружений, а также методы интенсификации процесса на действующих очистных сооружениях.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуют образующиеся на очистных станциях осадки?
2. Какие технологические схемы обработки осадков используются на станциях аэрации?

8.2. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ АНАЭРОБНОЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В процессе очистки сточных вод едиными сооружениями с положительным энергетическим балансом являются метантенки. Важными элементами анаэробной обработки осадка и его утилизации являются получение и использование биогаза, что обеспечивает использование вторичных ресурсов и является энергосберегающей технологией.

Как указывает заграничный опыт и результаты опытов, при правильной организации работ по получению и утилизации биогаза на очистных сооружениях систем водоотведения реально покрыть до 75% собственных энергетических потребностей.

К основным задачам интенсификации метанового сбраживания относятся:

- уменьшение продолжительности сбраживания при сохранении заданной степени распада органических веществ;
- увеличение количества биогаза, который выделяется в процессе брожения, с целью последующего его использования на обогрев метантенков и дополнительного получения других видов энергии;
- увеличение содержания метана в биогазе с целью повышения эффективности его использования;
- улучшение влагоотдающих свойств сброженного осадка для увеличения эффекта последующего его обезвоживания и др.

Следует отметить, что одновременное решение перечисленных задач, как правило, невозможно, поэтому необходимо сначала четко определить цель интенсификации.

Главными направлениями интенсификации процесса анаэробного сбраживания в метантенках можно считать:

- усовершенствование и модернизацию технологических параметров самого процесса анаэробного сбраживания; применение разных приемов и средств, которые оказывают содействие оптимизации процесса анаэробного сбраживания;
- усовершенствование и модернизацию конструкций или конструктивных элементов сооружений анаэробного сбраживания осадков, который будет оказывать содействие улучшению условий хода процесса сбраживания и повышению его эффективности.

К основным способам интенсификации работы метантенков относятся:

- повышение температуры сбраживания;
- повышение концентрации сбраживаемых осадков;
- улучшение перемешивания осадка;
- переход на непрерывную загрузку и разгрузку осадка;
- двух- и многоступенчатое сбраживание;
- увеличение концентрации анаэробных микроорганизмов.

Наиболее влияющим и определяющим параметром процесса анаэробного сбраживания является температура сбраживания. Работа существующих сооружений анаэробного сбраживания может быть

интенсифицирована за счет повышения температуры сбраживания, то есть переводением мезофильного режима сбраживания в термофильный ($t=53-55^{\circ}\text{C}$). При этом процесс ускоряется в два раза. Соответственно в два раза увеличиваются доза загрузки метантенков и пропускная способность метантенков. Кроме этого, при термофильном сбраживании достигается более полная дегельминтизация осадков. Однако, такой режим требует больших затрат энергии для подогрева метантенков, и надо учитывать, что после термофильного сбраживания несколько ухудшается влагоотдача осадков.

Для регионов с теплым климатом (например, для южных областей Украины) проблему анаэробного сбраживания в некоторых случаях можно решить путем полного или частичного перехода на психрофильное сбраживание ($t=15-17^{\circ}\text{C}$) осадка без его нагревания. Указанный способ можно реализовать при наличии достаточной площади для расширения очистных сооружений. Это связано с тем, что при таком режиме сбраживания уменьшается скорость процесса брожения и, соответственно, увеличивается необходимая емкость установок. Однако это компенсируется простотой их конструкции и легкостью эксплуатации. Так, в некоторых странах широко распространено использование метантенков в виде земляной емкости с наклонными стенками и плоским дном, герметичность которых обеспечивается пластмассовым пленочным покрытием.

Большое значение для хода процесса анаэробного сбраживания имеет концентрация осадка. При сбраживании более концентрированных осадков можно обеспечить необходимое время сбраживания при меньшем объеме метантенков, так как увеличивается концентрация метанообразующих бактерий и биохимические процессы начинаются и протекают быстрее. Для этого перед поступлением в метантенки осадок должен уплотняться. Рекомендуемое минимальное содержание сухого вещества составляет 1,5%. Для интенсификации работы существующих метантенков можно применить предварительное уплотнение осадка путем использования таких методов как гравитационное уплотнение, флотация, центрифугирование. При уплотнении избыточного активного ила сравнительно простым и дешевым способом является флотация. Отечественная и зарубежная практика показывает, что этот способ эффективен и при уплотнении сырого осадка или его смеси с избыточным активным илом. Для предварительного уплотнения осадка часто используются центрифуги, которые позволяют уплотнять осадок до 5-8% концентрации сухого вещества[96]. Так, при реконструкции действующей станции аэрации [97] было установлено 3 цен-

трифуги для предварительного сгущения осадков без реагентов от 1% до 6% массы сухого вещества перед поступлением в метантенки. Это дало возможность значительно повысить эффективность сбраживания и увеличить выход биогаза.

Имеются данные об успешной эксплуатации метантенков при концентрации сухого вещества в загружаемом осадке 6-8%, а также данные полупроизводственных исследований процесса сбраживания концентрированного до 12-15% массы сухого вещества осадка при меньшем времени сбраживания и большей нагрузке по беззольному веществу [72].

Повышению эффективности процесса метанового сбраживания способствует также обеспечение регулярной загрузки свежего осадка и разгрузки сброженного, чтобы поддержать соотношение беззольного вещества и микроорганизмов по возможности более стабильным и, таким образом, избежать каких-то внезапных изменений в развитии микроорганизмов [96].

Для интенсификации процесса анаэробного сбраживания применяется предварительная обработка осадков разными физическими и химическими методами.

Так, пастеризация осадка в течение нескольких часов при температуре 85-95 °С увеличивает скорость процесса обработки в среднем на 14,8% [72]. Стерилизация осадков перед сбраживанием в течение 15-20 минут при температуре 100-120 °С сокращает время сбраживания на 30%, однако, выход биогаза не увеличивается.

Предварительная обработка осадка ультразвуком обеспечивает диспергирование частиц осадка и его равномерное размещение в реакторе.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют утверждать, что при предварительной дезинфекции биологических осадков с целью разрушения оболочек клетки и освобождения внутриклеточной жидкости, клеточная масса становится более доступной микроорганизмам-анаэробам и при анаэробном сбраживании удельный выход биогаза увеличивается на 40%, а объем стабилизированного осадка после обезвоживания сокращается вдвое. Для механического препарирования клеточного вещества биологических осадков применяется специальная мельница и высоконапорный гомогенирующий клапан.

Как показали исследования влияния предварительной обработки осадков очистных сооружений раствором щелочи на эффективность анаэробного сбраживания осадков, при обработке осадков с концен-

трацией сухого вещества 1-2% раствором NaOH дозой 20 и 40 мг-экв/л, время сбраживания сокращается, а выход биогаза удастся увеличить почти в 2 раза.

Интенсифицировать процесс анаэробного сбраживания позволяет, кроме того, добавление ферментов. Добавление гормонов и стимуляторов роста (тестостерон, фитостерон, витамин группы Д и др.) также позволяет интенсифицировать процесс сбраживания. При добавке спорообразующих бактерий выход биогаза увеличивается до 70% [72].

Авторами показана целесообразность использования для интенсификации анаэробного сбраживания коммерческих препаратов “ALCALASE 24 L”, “SAVINASE 80L”, “ENZECO”, которые содержат протолитические ферменты, полученные из *Bacillis licheniformis*, вследствие чего улучшаются седиментационные свойства анаэробной бактериальной массы при температуре сбраживания 30-60 °С.

Для интенсификации процесса анаэробного сбраживания осадков сточных вод с целью повышения эффективности образования биогаза и уменьшения объема реактора предлагается метод, который включает стадию обезвоживания части сырого осадка до концентрации 10-15% сухого вещества, потом смешивания его в соотношении 1:1 с рециркулирующей частью осадка, подвергающегося метановому сбраживанию. Причем обезвоженный осадок предварительно нагревается до температуры 50-170 °С. Метановое сбраживание происходит при температуре 50 °С.

В числе методов интенсификации процесса анаэробного сбраживания, базирующихся на усовершенствовании и модернизации конструкций и конструктивных элементов метантенков и других анаэробных реакторов, важнейшее место занимает усовершенствование системы перемешивания среды в метантенках. Благодаря перемешиванию поддерживается равномерность распределения подаваемого осадка в объеме сооружения и его постоянный контакт с биомассой; поддерживается на низком уровне концентрация продуктов распада, благодаря их равномерному распределению в объеме; обеспечивается однородность среды по температуре, концентрации элементов питания и др., что создает наилучшие условия для развития бактерий; происходит достаточно эффективное перемещение токсичных веществ внутри системы, что уменьшает их влияние на процесс сбраживания; предотвращается образование корки на поверхности осадка. С помощью перемешивания можно увеличить выход биогаза на 20%.

Перемешивание в метантенках может осуществляться с помощью:

- насосов за счет рециркуляции большого количества осадка со дна в верхнюю часть метантенка;
- газа, который под давлением подается в метантенк;
- разных механических устройств;
- использованием комбинированных приемов.

Например, для реконструкции действующих метантенков предлагается простое и надежное устройство, которое обеспечивает совершенное перемешивание во всем объеме метантенка [72]. Устройство состоит из установленных внутри метантенка двух всасывающих диффузоров, насосов и внешнего кольца нагнетающего трубопровода, от которого во внутреннюю часть метантенка опущены вертикальные соплоподобные трубки, установленные по кругу в пристенной части метантенка через 5-6м. Нижний диффузор размещен в придонной части метантенка, верхний – на расстоянии 1-2 мм от поверхности осадка. Через оба диффузора осадок подается в кольцевой трубопровод, откуда сквозь сопла сильной струей возвращается в метантенк, чем обеспечивается перемешивание.

Эффективным способом перемешивания осадка в метантенке является подача в его нижнюю зону биогаза, образуемого во время брожения. Одновременно с интенсивным перемешиванием, рециркуляция биогаза благоприятно влияет на весь процесс брожения. При перемешивании биогазом содержимого метантенка, последний забирается с помощью компрессора из газопровода непосредственно после метантенка и подается под давлением в нижнюю его часть через специальные барботеры [59].

Можно также применить газлифтный способ перемешивания осадка при брожении [59]. При этом биогаз вводится с помощью эжектора в напорный трубопровод рециркуляционного насоса (рис.8.1).

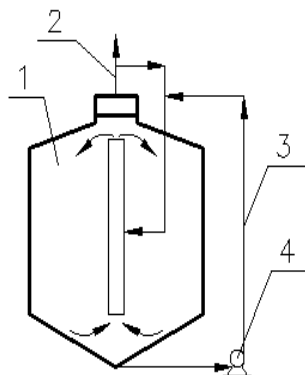


Рис. 8.1. Схема газлифтного перемешивания осадка в метантенке:
1 – метантенк; 2 – газопровод; 3 – трубопровод осадка; 4 – циркуляционный насос

В общем, для интенсификации процесса анаэробного сбраживания разрабатываются разные модифицированные конструкции метантенков и других анаэробных реакторов с целью, как интенсификации перемешивания, так и повышения эффективности процесса сбраживания в целом.

Разработана конструкция метантенка, который исключает необходимость использования оборудования для перемешивания осадка [72]. Этот метантенк с переменным уровнем осадка разделен вертикальной стенкой на две соединенные емкости, в одну из которых воздуходувкой нагнетается газ из газгольдера. При достижении достаточного перепада давления и уровня осадка между емкостями давление быстро сбрасывается с помощью клапана, что вызывает быстрый перелив осадка. После падения уровней в обеих емкостях снова включается воздуходувка, благодаря чему и обеспечивается перемешивание.

Повысить эффективность анаэробного сбраживания можно за счет многоступенчатых (две-семь) схем сбраживания. В основе такого сбраживания лежит разделение процесса на стадию интенсивного брожения с бурным выделением биогаза (I ступень) и стадию затухания процесса, на которой прекращается газовыделение, осуществляется расслоение осадка и отделение иловой воды (II ступень). При этом содержание влаги в сброженном осадке при $t=30-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ несколько снижается, вследствие чего площадь площадок для обезвоживания сокращается на 12-18%, однако, степень деструкции и выход газа не изме-

няются [72]. Вторая ступень процесса может происходить в открытых железобетонных резервуарах, которые не имеют оснащения для перемешивания и обогрева, что значительно уменьшает капитальные затраты. Промывка ила между первой и второй ступенями сбраживания улучшает его седиментационные свойства и физиологическое состояние, вследствие чего увеличивается выход газа на второй ступени.

Эффективным способом интенсификации процесса метанового сбраживания является фазовое разделение. Этот способ основан на том, что кислото- и метанообразующие микроорганизмы отличаются по своим физиологическим характеристикам и имеют разные требования к условиям среды существования.

При раздельном культивировании обеих групп бактерий и создании в каждом реакторе (рис. 8.2) оптимальных условий их развития повышается активность кислото- и метанообразующих бактерий.

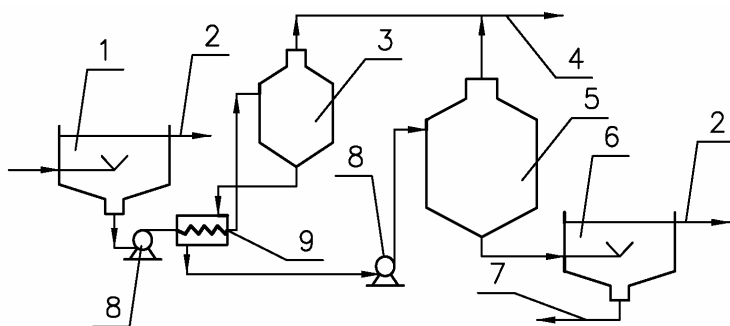


Рис. 8.2. Схема фазового разделения: 1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – иловая вода; 3 – анаэробный реактор первой фазы; 4 – биогаз; 5 – анаэробный реактор второй фазы; 6 – уплотнитель сброженного осадка; 7 – сброженный осадок; 8 – насос; 9 – теплообменник

В реакторе с кислотной фазой (I фаза), за короткое время достигается глубокий гидролиз органических веществ и высокая скорость образования кислот при полном исключении или очень незначительном преобразовании их в метан. Далее, в реакторе с метановой фазой (II фаза), которая характеризуется более продолжительным пребыванием осадка, происходит максимальное преобразование образованных летучих жирных кислот в метан. Рекомендованное время пребывания осадка в реакторе I фазы брожения колеблется в границах от 10ч до 2 суток, а общая продолжительность процесса – 3-5 суток в зависимости

от температуры брожения в каждой фазе [59]. Известен метод интенсификации процесса анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод, путем разделения и проведения в отдельных реакторах стадий кислого и метанового сбраживания с подпиткой микроэлементами. Выход биогаза при продолжительности сбраживания 11 суток составил 700л на 1г беззольного вещества. Степень сбраживания беззольного вещества – до 70%.

Для поддержания высоких скоростей преобразования органического вещества осадка необходимы высокие концентрации микроорганизмов в каждой фазе процесса и в особенности концентрации метановых бактерий. В этом контексте привлекают внимание использование закрепления (иммобилизации) микроорганизмов, реакторов с восходящим потоком, в которых образуется взвешенный слой гранулоподобного осадка с высокой концентрацией метановых бактерий.

При иммобилизации микрофлоры на твердых носителях в процессе сбраживания осадка при фазовом разделении достигаются следующие преимущества:

- высокие скорости процесса;
- исключение необходимости рециркуляции биомассы для поддержания нужной ее концентрации в реакторе;
- обеспечение более стабильной работы сооружения при колебаниях температуры и расхода осадка;
- повышается метаболическая активность микроорганизмов за счет развития специфических видов, приспособленных к условиям фазового разделения;
- сброженный осадок характеризуется лучшей влагоотдачей, что снижает затраты на дальнейшую его обработку.

Количество биогаза, образующегося при сбраживании осадка, зависит от состава осадка и на разных очистных сооружениях колеблется в значительных пределах. В среднем выход газа на 1м³ загружаемой смеси осадка и ила составляет около 12м³ [98]. Теплообразующая способность и количество биогаза зависят от его состава, то есть от содержания основного компонента – метана и составляет 5000-6000 ккал/м³. С 1 м³ биогаза можно получить до 2 кВт·ч электроэнергии и до 6 кВт·ч тепловой энергии в отопительно-промышленных котельных [98].

В городах Америки, Японии, Германии и других развитых странах от 75 до 100% энергозатрат канализационных очистных сооружений компенсируется за счет утилизации биогаза [99].

Институтом „УкркоммунНИИпрогресс” (г. Харьков) предложена технология получения электрической и тепловой энергии на основе биогаза метантенков с использованием отечественного оборудования и вторичного тепла отработанных газов и охлаждающих сред двигателя [98]. Описание этой технологии с некоторой модификацией (введением стадии измельчения задержанного на процеживателях осадка) приведено ниже.

Указанная технология (рис.8.3) представляет собой комплекс сооружений, в который входят сооружения:

- для обеспечения стабильности процесса сбраживания осадка в метантенках;
- для сбраживания осадка и получения биогаза;
- для утилизации биогаза с получением электроэнергии;
- для утилизации повторного тепла для подогрева осадка.

Для обеспечения стабильности процесса анаэробного сбраживания осадка городских сточных вод предусматривается комплекс сооружений по изъятию грубодисперсных включений из жидких осадков с дальнейшим его измельчением. Это позволяет уменьшить “коркообразование” в метантенках и затраты тепла на подогрев осадка для поддержания заданной температуры сбраживания. В указанный комплекс входят резервуары исходного и процеженного осадка, дробилка осадка, здание процеживания и измельчения. В последнем размещаются процеживатели жидкого осадка (ПЖО), дробилка крупного осадка, четыре группы насосов разного назначения, вентиляционная камера, щитовая, теплопункт и бытовые помещения.

ПЖО задерживает грубодисперсные включения крупностью более 4мм. Задержанные включения потом попадают на дробилку, после которой измельченный осадок поступает снова в резервуар исходного осадка.

Установка дробилки исключает образование пробки и, за счет более эффективного перемешивания, обеспечивает надежную работу метантенков и увеличивает выход биогаза.

В насосном отделении устанавливаются следующие группы насосов:

- для непрерывной загрузки осадка в метантенки;
- для подачи процеженного осадка в теплообменники, в которых осадок подогревается теплом электроагрегата;
- для перемешивания осадка в метантенках;
- для подачи осадка на ПЖО и дробилку.

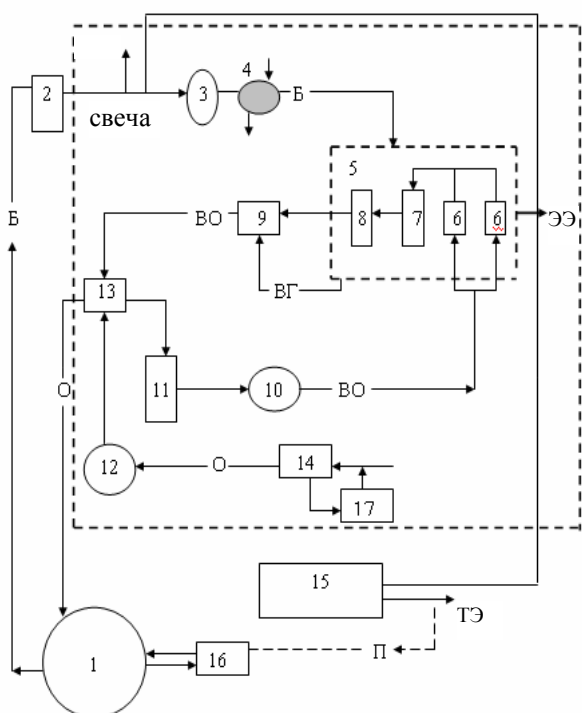


Рис. 8.3. Принципиальная технологическая схема получения электрической и тепловой энергии из биогаза метантенков: ЭЭ – электроэнергия; О – загружаемый осадок; ВГ – выхлопные газы; Б – биогаз; ТЭ – тепловая энергия; П – пар; ВО – вода циркуляционного контура охлаждения; 1- метантенк; 2- газ-гольдер; 3- компрессор; 4- холодильник сжатого биогаза; 5- двигатель-генератор; 6- холодильник “водо-воздушный” (наддувочного воздуха); 7- теплообменник “водо-масляный”; 8- теплообменник “водо-водяной”; 9- теплообменник-утилизатор выхлопных газов; 10- насос циркуляционного контура охлаждения; 11- резервуар оборотной воды; 12- насос загрузки осадка; 13- теплообменник “вода-осадок”; 14- процеживатель жидких осадков (ПЖО); 15- котельная; 16- инжекторная; 17- дробилка.

В комплекс сооружений для сбраживания и получение биогаза входят метантенки, газосборный пункт, инжекторная, башня лифтов и галерея обслуживания метантенков. Биогаз из газосборного пункта метантенков направляется на комплекс сооружений по его утилизации.

Наиболее целесообразным с энергетической точки зрения вариантом является утилизация полученного в метантенках биогаза в двигателях-генераторах с получением электроэнергии и частично в котельных очистных сооружениях вместо естественного газа или твердого топлива.

В предложенной технологической схеме по утилизации биогаза со газосборного пункта метантенков биогаз попадает в компрессорную, где его давление с 0,25 м. в. ст. увеличивается до 50 м. в. ст. Вследствие сжатия биогаза его температура увеличивается до 100 °С. Поскольку температура биогаза на входе в электроагрегат не должна превышать 25 °С, то после компрессоров предусмотрено устройство для охлаждения биогаза, состоящее из теплообменников. Из последних уже охлажденный и сжатый биогаз подается в двигатель электроагрегата, вырабатывающий трехфазный ток, который через распределительное устройство подается потребителям электроэнергии станции биологической очистки.

В нашей стране ПО “Завод им. В.А.Малышева” (г. Харьков) для станций производительностью 150 тыс.м³/сут. и выше разработал двигатели-генераторы, которые работают на биогазе, мощностью 1000 кВт и выше.

Дизель-генераторы, которые могут быть переоборудованы под использование биогаза в качестве топлива для станций мощностью до 150 тыс.м³/сут. выпускаются на заводе “Юждизельмаш” (г. Токмак Запорожской обл.).

Газовый двигатель электроагрегата 15ГД-100.Б изготовлен на базе современного высокоэффективного отечественного дизель-генератора 15Д100. Двигатель разработан для использования в качестве топлива, как естественного газа, так и биогаза.

Двигатель-генератор представляет собой автоматизированную установку, которая может работать как в автономном режиме, так и параллельно с энергосетью. Техническая характеристика двигателя-генератора 15ГД-100.Б (для двух видов топлива) приведена в табл.8.3:

Для обеспечения высокой эффективности и безотходности работы всего комплекса сооружений предусматривается утилизация сбросового тепла двигателей-генераторов (охлаждающих среды-воды и выхлопных газов) для нагрева загружаемого в метантенки осадка.

Таблица 8.3. Техническая характеристика двигателя-генератора 15ГД-100.Б

Параметр	Биогаз	Естественный газ
Мощность, кВт	1000	1600
Частота оборотов, об/мин	750 (600,900)	750 (600,900)
Удельный расход топлива при номинальной мощности, мДж/(кВт·ч)	11,3	9,3
Ресурс до капитального ремонта, ч	60 000	60 000
Род тока (переменный)	3-фазный	3-фазный
Напряжение, В	6300 (10000)	-
Частота, Гц	-	500 (600)

Технологическая схема утилизации биогаза и вторичного тепла отработанных газов и охлаждающих сред двигателя состоит из таких узлов:

- устройства по подготовке биогаза в качестве топлива для двигателя электроагрегата 15ГД-100.Б, включающие трубопровод биогаза, компрессор 5ВКГ-10/6, запорную и регулирующую арматуру, теплообменники;
- установки по утилизации биогаза, включающие электроагрегат 15ГД-100.Б с комплектом вспомогательного оснащения и аппаратуры и щиты управления двигателем и генератором;
- устройства по утилизации теплоты системы охлаждения электроагрегата 15ГД-100.Б и теплоты отработанных газов двигателя электроагрегата.

Утилизация излишнего тепла электроагрегата осуществляется следующим образом. Вода после охлаждения двигателя подогревается в теплообменниках „КС” выхлопными газами от двигателя и подается в теплообменники, где происходит подогрев осадка, который загружается в метантенки. Охлажденная в этих теплообменниках вода возвращается в систему двигателя. Теплообменники “КС” установлены вбли-

зи глушителя выпуска выхлопных газов двигателя, что снижает потери тепла и также выполняет функцию глушителя выпуска отработанных газов двигателя. В теплообменники подается вода из системы охлаждения двигателя с температурой $58,5^{\circ}\text{C}$, отводится от теплообменника с температурой $65,5^{\circ}\text{C}$ и насосами K45/55 подается в спиральные теплообменники для подогрева осадка, загружаемого в метантенки, до температуры 44°C . Охлажденная в теплообменниках до температуры 35°C вода возвращается в систему двигателя. К теплообменнику "КС" подводят выхлопные газы с температурой 300°C . Охлажденные выхлопные газы (120°C) выводят в атмосферу через глушитель выхлопа. Теплообменники для подогрева осадка и насосы непрерывной загрузки осадка в метантенки должны быть установлены вблизи существующих метантенков.

Применение указанной схемы с устройством двух рабочих электроагрегатов должно обеспечить выработку электроэнергии 15 млн. квт·ч/год и тепловой энергии 17 тыс. Гкал/год. Строительство установок оправдывает себя при затрате биогаза на очистных сооружениях больше $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Анаэробное сбраживание осадка городских сточных вод с дальнейшим использованием биогаза в качестве топлива для двигателей-генераторов позволит решить комплекс важных задач:

- технологических, которые обеспечивают получение стабилизированного незагнивающего осадка;
- энергетических, которые дают возможность компенсировать значительную часть электрической и тепловой энергии, расходуемой на работу воздухоудувных машин и технологический подогрев осадка, который подается на сбраживание в метантенки;
- экологических, что снижает загрязнение атмосферы метаном и ликвидирует запахи, которые выделяются при перегнивании нестабилизированного осадка сточных вод.

Важным преимуществом такой технологии является также возможность обеспечения автономного энергообеспечения станций биологической очистки при аварийных режимах в энергосети.

Анализ работы сооружений по обработке и утилизации осадков действующих станций биологической очистки сточных вод Украины, осуществленный специалистами НИКТИ городского хозяйства Украины под руководством к.т.н. Давиденка О.И., позволил сделать определенные обобщения и рекомендовать методы интенсификации работы сооружений по обработке и утилизации осадков, которые приведены в табл.8.4.

Таблица 8.4. Существующие методы интенсификации работы сооружений по обработке и утилизации осадков на действующих станциях биологической очистки сточных вод

Стадия обработки	Способ обработки	Существующие сооружения и оборудование	Приемы интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект от интенсификации
1	2	3	4	5	6
Уплотнение	1. Гравитационное уплотнение	1. Вертикальные отстойники	1. Применение коагулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования рабочих растворов реагентов	Повышение пропускной способности отстойников. Улучшение влагоотдающих свойств уплотненных осадков. Уменьшение уноса взвешенных веществ с иловой водой.
			2. Использование флокулянтов		
		2. Радиальные отстойники	1. Переоборудование	Оборудование отстойника фермами с вертикальными сваями для перемешивания осадка	Уменьшение влажности уплотненных осадков
			2. Применение коагулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Повышение пропускной способности уплотнителей.

1	2	3	4	5	6
			3. Применение флокулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Улучшение влаagoотдающих свойств уплотненных осадков; - Уменьшение уноса взвешенных веществ с иловой водой.
		3. Флотаторы	1. Применение новых систем подачи и распределения воздухa	Замена системы подачи воздуха на более продуктивную	Уменьшение энергозатрат. Повышение пропускной способности флотаторов.
			2. Применение новых систем сбора флотированного осадка	Замена системы сбора осадков после флотации	Повышение производительности сооружений. Уменьшение влажности осадка после флотации.
			3. Замена сооружений гравитационного уплотнения на оборудование для механического уплотнения	1. Установка рукавных та патронных фильтров	Уменьшение площади сооружений для уплотнения осадков.
				2. Установка сепараторов для уплотнения избыточного ила	Улучшение условий эксплуатации сооружений.

1	2	3	4	5	6
				Установка центрифуг для уплотнения избыточного ила	Улучшение экологического состояния в районе очистных сооружений.
Стабилизация	Аэробная стабилизация	Аэробные стабилизаторы	1. Удаление грубодисперсных примесей	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Увеличения глубины распада органических веществ. Снижение энергозатрат.
			2. Повышение степени массообмена	Замена механических аэраторов, или фильтровальных пластин на аэраторы типа „Экополимер”	Улучшение использования объема стабилизатора. Снижение энергозатрат.
			3. Применение рециркуляции	Монтаж системы рециркуляции	Увеличение пропускной способности аэробных стабилизаторов.
	Анаэробное сбраживание	Мезофильный и термофильный режим	1. Удаление грубодисперсных примесей	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Облегчение условий эксплуатации оборудования и запорной арматуры. Увеличение удельного выхода газа. Углубление распада органических веществ.

1	2	3	4	5	6
			2. Предварительное сгущение осадков	Оборудование узла предварительного сгущения осадков с использованием: - модифицированных радиальных уплотнителей с системой перемешивания; - рукавных фильтров; - центрифуг- сгустителей	Более эффективное использование рабочего объема метантенков. Увеличение удельного выхода биогаза.
			3. Использование биодобавок	Обустройство узла дозирования биодобавок	Создание оптимальных условий жизнедеятельности микроорганизмов. Увеличение глубины распада органических веществ. Увеличение удельного выхода газа.
			4. Усовершенствование системы перемешивания	Замена системы перемешивания осадка в метантенках	Снижение энергозатрат. Повышение эффективности использования объема сооружений.

1	2	3	4	5	6
			5. Использование рециркуляции осадков	Монтаж системы рециркуляции осадка	Увеличение нагрузки на метантенки.
		Мезофильный режим	1. Первичная дегельминтизация осадков	Обустройство узла тепловой дегельминтизации осадков	Снижение энергозатрат на сбраживание осадков.
		Термофильный режим	1. Утилизация тепла сброженных осадков	Установка теплообменного оборудования для подогрева осадков, поступающих в метантенки, за счет тепла сброженных осадков	Снижение энергозатрат.
			1. Использование двухступенчатого аэробно-анаэробного сбраживания	Строительство и монтаж оборудования для реализации процесса двухступенчатого аэробно-анаэробного сбраживания	Уменьшение объема сооружений для сбраживания. Снижение энергозатрат. Углубление процесса распада органических веществ осадка.

1	2	3	4	5	6
			2. Раздельное сбраживание сырого осадка и избыточного ила	Монтаж необходимых систем разделения потоков сырого осадка и избыточного активного ила	Снижение удельных расходов на обработку осадков на очистных станциях. Увеличение удельного выхода биогаза. Углубление распада органических веществ осадков.
Конди- циониро- вание	Термиче- ское	Система теплообмен- ников „труба в трубе” и реакторов	1. Улучшение теплопередачи	Замена теплообмен- ного оборудование на более мощное.	Снижение энергозатрат.
			2. Оптимизация температурного режима и давления	Перераспределение тепловых потоков между отдельными стадиями процесса исходя из оптимального соотношения технологических параметров – температуры обработки, время контакта	Снижение энергозатрат. Улучшение влагоотдающих свойств кондиционированных осадков.

1	2	3	4	5	6
	Химическое	Реагентное хозяйство с использованием извести и хлорного железа	1. Замена реагентов на современные коагулянты	Переоборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Снижение эксплуатационных затрат. Улучшение условий труда. Возможность использования современного оборудования для механического обезвоживания осадков.
			2. Замена реагентов на флокулянты	Оборудование узла приготовления и дозирования флокулянта	Снижение эксплуатационных затрат. Уменьшение производственных площадей, занятых под реагентное хозяйство. Возможность использования современного оборудования для механического обезвоживания осадков.
Обезвоживание	С помощью аппаратов механического обезвоживания	Вакуум фильтры	1. Интенсификация процесса кондиционирования осадков	Работы, которые выполняются при выбранном способе кондиционирования осадков	Снижение энергозатрат. Снижение эксплуатационных расходов на стадии обработки осадков.

1	2	3	4	5	6
			2. Оптимизация технологического процесса	Подбор ткани и режима работы аппаратов, исходя из физико-химических свойств осадка и технологии его кондиционирования	Повышение производительности вакуум-фильтров. Снижение влажности кека. Уменьшение объема кека.
			3. Замена агрегатов на более производительные	Замена существующих вакуум-фильтров на более производительные аппараты. Модификация технологического процесса установленных аппаратов	Увеличение производительности работы цеха механического обезвоживания осадков. Улучшение условий труда.
		Камерные фильтры	Замена аппаратов на более эффективные	Замена камерных фильтр-прессов на аппараты большей производительности	Улучшение условий труда. Уменьшение эксплуатационных затрат.
		Ленточные фильтр-прессы	1. Интенсификация процесса кондиционирования осадков	Работы, которые выполняются в соответствии с выбранным методом	Снижение влажности кека. Улучшение условий труда.

1	2	3	4	5	6
			2. Удаление грубодисперс- ных примесей из осадка	Установка процежи- вателей жидкого осадка и шнековых прессов	Повышение производительности оборудования. Улучшение условий труда.
		Центрифуги	1. Удаление грубодисперс- ных примесей из осадка	Установка процежи- вателей жидкого оса- дка и шнековых прес- сов	Повышение производительности оборудования. Улучшение условий труда.
			2. Модерниза- ция процесса кондициониро- вания осадка	Работы, соответст- вующие выбранному методу	Снижение эксплуатационных затрат. Снижение нагрузки на сооруже- ния биологической очистки.
			3. Модерниза- ция оборудова- ния	Замена центрифуг на более современные	Уменьшение объема кека; Снижение влажности кека
	Иловые площадки	На естествен- ном грунте без дренажа	1. Реагентное кондициониро- вание осадков	Оборудование узла приготовления и до- зирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			2. Использо- вание покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки.

1	2	3	4	5	6
			3. Реконструкция	Строительство искусственного покрытия и дренажа	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			4. Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшение экологического состояния в районе очистных сооружений. Освобождение земли.
		На естественном грунте с дренажом	1. Реагентно кондиционирование осадков	Строительство узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			2. Использование покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			3. Реконструкция	Замена системы дренажа с использованием современных материалов	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			4. Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшении экологического состояния в районе очистных сооружений. Освобождение земли.

1	2	3	4	5	6
		На искусст- венном осно- вании с дре- нажом	1. Реагентное кондициониро- вание осадков	Оборудование узла приготовления и до- зирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки.
			2. Промывка дренажа	Монтаж системы промывки дренажа	Увеличение срока службы дре- нажа.
			3. Продувка дренажа	Монтаж системы про- дувки дренажа	Увеличение срока службы дре- нажа.
			4. Замена дре- нажа	Замена дренажной системы на более современную, обору- дованную горизон- тальным и вертикаль- ным дренажем из полимерных труб	Увеличение производи- тельности иловых площадок. Уменьшение нагрузки на со- оружения биологической очист- ки.
			5. Вакуумиро- вание дренаж- ной системы и обеспечение ее регенерации путем продувки сжатым возду- хом [107-109]	Установка вакуумно- нагнетательной уста- новки	- Увеличение нагрузки на ило- вые площадки

1	2	3	4	5	6
			6. Реконструкция	Оборудование механического перемешивания и уборки обезвоженного осадка	Увеличение нагрузки на иловые площадки

Контрольные вопросы

1. Основные задачи интенсификации метанового сбраживания?
2. В чем состоят главные направления и основные способы интенсификации работы метантенков?
3. Какие методы предварительной обработки осадка применяют для интенсификации процесса сбраживания?
4. Какие устройства используют для реконструкции действующих метантенков?
5. Какие технологические схемы используются для утилизации биогаза и вторичного тепла?
6. Какие приемы интенсификации аэробной стабилизации используют на действующих очистных сооружениях?
7. Какие приемы используются для интенсификации процесса механического обезвоживания осадков и при естественной сушке осадков на иловых площадках?

ЛИТЕРАТУРА

1. Тугай А.М., Прокопчук И.Т. Водоснабжение из подземных источников. Справочник. – К.: Урожай.–1990.–264 с.
2. Порядин А.Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов.- М.: Стройиздат.-1984.-183 с.
3. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. Справочное пособие к СНиП 2.04.02–84 / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР.– М.: Стройиздат.–1990.–256 с.
4. Пособие по пуску, наладке и эксплуатации очистных сооружений водопровода / СУ «Росводоканалналадка», ГУВКХ МЖКХ РСФСР.– М.: Стройиздат.–19...–248 с.
5. ДсанПіН №136/1940 „Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько–питного водопостачання” .– К.: МОЗ України.–1997.–21 с.
6. Душкин С.С., Дегтерева Л.И., Крамаренко Л.В., Яровинская А.Л. Водоподготовка и процессы микробиологии. Учебное пособие.– К.: – 1996.–164 с.
7. Грабовський П.А., Ларкина Г.М., Прогульный В.И. Очистка природных вод. Учебное пособие.– Одесса: ОГАСА.– 2003.–267 с.
8. Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях / Департамент ЖКХ Госстроя России, НИИ КВОВ.–М.:1997.–113 с.
9. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР.– М.: Стройиздат.–1985.–136 с.
10. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02–84) / НИИ КВОВ.–М.: ЦИТП.–1989.– 125 с.
11. Герасимов Г.Н. Процессы коагуляции–флокуляции при обработке поверхностных вод // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №3.–с.26–31.
12. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами.–М.: „Наука”.–1977.–356 с.
13. Алексеева Л.П., Драгинский В.Л., Моисеев А.В. Механическое смешение реагентов с обрабатываемой водой // // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №3.–с.16-18.
14. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебное пособие для вузов.– М.: издат. МГУ.–1996.–680 с.
15. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Ч.2 / Под ред. Л.А.Кульского и др.–К.: «Наукова думка».–1980.–1206 с.
16. Алексеева Л.П., Драгинский В.Л., Моисеев А.В. и др. Повышение эффективности очистки воды на ЮВС г.Ярославля // Водоснабжение и санитарная техника.–2002, №5.– с.13-16.

17. Мясников И.Н., Потанина В.А., Буков Ю.Б. Результаты внедрения комбинированного отстойника–коагулятора на водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №3.–с.21–21.
18. Волков В.З., Коверга А.В. и др. Новые методы подготовки питьевой воды на Рублевской водопроводной станции // Водоснабжение и санитарная техника.–2003, ч.2, №5.–с.9–14.
19. Рекомендации по применению технологии очистки воды на осветлителях со взвешенным слоем рециркулируемого осадка / МЖКХ РСФСР, ЛНИИ АКХ им.К.Д.Памфилова.–Л.: ЛНИИ АКХ.–1985.–10 с.
20. Аюкаев Р.И., Грабовский П.А., Ларкина Г.М. Пути интенсификации работы фильтровальных сооружений // Химия и технология воды.–1991, т.13, №11.–с.1041–1047.
21. Грабовский П.А., Ларкина Г.М. Работа скорых фильтров в переменных режимах // Химия и технология воды.–1984, т.6, №6.–с. 546–551.
22. Грабовський П.О, Гурінчик Н.О. Чисельна реалізація математичної моделі фільтрування // Науково-технічний збірник „Проблеми водопостачання, водовідведення”, вип..6.-К.-2005.-с.4-13.
23. Аюкаев Р.И. Интенсификация работы водоочистных фильтров и совершенствование метода их расчета.-Петрозаводск.-1985.-92 с.
24. Тарасевич Ю.И. Природные цеолиты в процессах очистки воды // Химия и технология.–1988, т.10, №3.–с.210–218.
25. Руденко Г.Г. и др. Свойства закарпатского клиноптилолита как фильтрующего материала для очистки питьевой воды // Химия и технология.–1988, т.10, №2.–с.115–118.
26. Грабовский П.А. и др. Технологии доочистки воды в системах питьевого водоснабжения // Сб. докл. Междунар. Конгресса «ЭТЭВК–99».–Ялта.–1999.
27. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды.–Л.: Стройиздат.–1985.–118 с.
28. Орлов В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений. – Киев: Будівельник, 1987.–127с.
29. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Тюрев В.Ф. Промывка скорых фильтров/ Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР, №7,– М.: 1981, –71 с.
30. Грабовский П.А., Ларкина Г.М. Конструкции дренажно-распределительных систем водоочистных фильтров / Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР №12, –М.: 1983, – 48 с.
31. Прогульный В.И. Тельпис В.С. Скорый фильтр с пористыми отводными трубами. ХНАГХ.–№45.–К.: Техника.– 2002.–с 159-164.
32. Апелцина Е.И. и др. Биологическая очистка природных вод из загрязненных источников / ОИ .– М.: ВНИИНТПИ.–1990.–83 с.

33. Пьянков А.А. и др. Испытания технологии постаммонизации на сооружениях МУП «Водоканал» Екатеринбурга // Водоснабжение и санитарная техника.-2000, №11.-с.28-30.
34. Медриш Г.Л., Тейшева А.А., Басин Д.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза.– М.: Стройиздат,1982.– 80с.
35. Петренко Н.Ф., Мокиенко А.В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки.-Одесса: Optimum.-2005.-486 с.
36. Алексеева Л.П. и др. Применение новых технологий очистки воды на водопроводе г. Ярославля // Водоснабжение и санитарная техника.-2003, №4, ч.2.-с.28-30.
37. Бирюков С.А. и др. Обеспечение Волгограда качественной питьевой водой // Водоснабжение и санитарная техника.-2000, №9.-с.4-5.
38. Инструкция по борьбе с утечками и потерями воды в городских водопроводах / МЖКХ РСФСР. – М.: Стройиздат.–1973.–78 с.
39. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие.-М.: Стройиздат.-116 с.
40. Кармазин Ф.В., Гумен С.Г. Учет и контроль расходов и качества питьевых и сточных вод – основа экономики предприятия // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №1.–с. 4–7.
41. Лернер А.Д. Обоснование нормативов водопотребления и величины неучтенных расходов // Жилищное и коммунальное хозяйство.–2001, №6.– с.31–33.
42. Кожинов И.В. и др. Наладка и интенсификация работы городских систем подачи и распределения воды.–М.: Стройиздат.–1978.–112 с.
43. Хоружий П.Д., Шарков М.В. Реконструкция систем водоснабжения. Расчет и проектирование. – К.: Будівельник.-1983.-144 с.
44. Эгильский И.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды.–Л.: Стройиздат.–1988.– 216 с.
45. Кожинов И.В., Добровольский Р.Г. Пути устранения потерь воды из водопровода.– М.: Стройиздат.–1982.–191 с.
46. Лобачев П.В., Лойцкер О.Д. Измерение расхода жидкости в системах водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника.–2000, №11.–с. 2–5.
47. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции.–М.: Стройиздат.–1976.–304 с.
48. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України. КДП 204–12.– 95 с.
49. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы.–М.: Машиностроение,1982.– 423с.

50. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках.– М.: Энергоатомиздат.–1991.–144 с.
51. Толстолес Ф.П. Гидравлика и насосы. Ч.3. Насосы.– М.Л.: Госэнергоиздат.–1938.– 400 с.
52. Ексаев А.Р. Оптимизация режимов работы систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №6.– с.34–36.
53. Поляков Г.П. Расчет экономии электроэнергии в насосных установках при введении частотно–регулируемого привода // Водоснабжение и санитарная техника.–2001, №1.– с.30–34.
54. Юдин М.Ю., Алексеев И.М., Мухамешин Р.Р. и др. Манометрические обследования системы подачи и распределения воды Санкт–Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника.–2000, №11.– с.26–27.
55. Агаджанов Г.К., Стулов В.В. АСУ как путь повышения качества услуг водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника.–2000, №8.– с.10–13.
56. Насосы и установки для водоснабжения и повышения давления. Водоснабжение 1998/99. Каталог фирмы «Wilo».
57. Константинов Ю.М., Василенко А.А. и др. Гидравлический расчет сетей водоотведения. Расчетные таблицы.– К.: Будівельник.–1987.–120 с.
58. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования.– М.: ЦИТП Госстроя СССР.–1986.–85 с.
59. Сіньов О.П. Інтенсифікація роботи і реконструкція каналізаційних очисних споруд. Навчальний посібник.–К.: ІСДО.–1994.–136 с.
60. Яковлев С.В. и др. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения.– М.: Стройиздат.–1985.–208 с.
61. Яковлев С.В. и др. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Учебник для вузов.– М.: Стройиздат.–1990.–511 с.
62. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков.– М.: Химия.–1988.–112 с.
63. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки.– М.: Стройиздат.–1991.–128 с.
64. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. 3–е изд.– М.: Стройиздат.–1977.–303 с.
65. Гусева Л.Н. Аэробная стабилизация флотационного шлама // Гидромелиорация и гидротехн. строительство. Респ. межвед. науч.техн. сб.–1979, вып.7.– с.85–87.
66. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков.– М.: Химия.–1992.–144 с.

67. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. 2-е изд.–М.: Стройиздат.–1982.–223 с.
68. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов.– М.: АСВ.–2002.–704 с.
69. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Навчальний посібник.–Рівне: ВАТ"Рівненська друкарня".–2003.– 616 с.
70. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. Учебное пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп.–М.: Стройиздат.–1987.–255 с.
71. Проектирование сооружений для очистки сточных вод (справочное пособие к СНиП).– М.: Стройиздат.–1990.–192 с.
72. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Под ред. С.В.Яковлева.– М.: Стройиздат.–1990.–224 с.
73. Мацнев А.И. Очистка сточных вод флотацией.– К.: Будівельник.–1976.–132 с.
74. Синев О.П., Мацнев А.И., Ігнатенко А.П. Реконструкция и расширение очистных сооружений.–К.: Будівельник.–1981.–44 с.
75. Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н. Микрофлотация: водоочистка, обогащение.– М.: Химия.–1986.–112 с.
76. Синев О.П., Охримюк Б.Ф. Реконструкция очистных сооружений молочноконсервного комбината // Молочная промышленность.–1992, №2.–с.22–23.
77. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. 2-е изд. перераб и доп.–М.: Стройиздат.–1982.–120 с.
78. Таваркиладзе И.М. Сорбционные процессы в биофильтрах.–М.: Стройиздат.–1989.–120 с.
79. Николаев А.Н., Большаков Н.Ю. Модель биологической очистки городских сточных вод в системе аэротенк–вторичный отстойник // Вода и экология.–2001, №4.–с.27–34.
80. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод.– М.: Стройиздат.–1980.–200 с.
81. Данилович Д.А., Дайненко Ф.А. и др. Удаление биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника.–1998, №8.–с.10–12.
82. Загорский В.А., Данилович Д.А. и др. Опыт промышленного внедрения технологий биологического удаления азота и фосфора // Водоснабжение и санитарная техника.–2002, №12.–с.21–27.
83. Загорский В.А., Данилович Д.А. и др. Реконструкция аэротенков Люберецкой станции аэрации с внедрением технологии нитриденитрификации // Водоснабжение и санитарная техника.–1999, №10.–с.28–31.

84. Londong J/ Strategies for optimized nitrate reduction with primary denitrification // *Wat/ Sci/ Tech*–1992, vol.26, № 5–6.–p.1087–1096.
85. Щетинин А.И. Особенности реконструкции городских очистных сооружений канализации в настоящий период // *Вода и экология*.–2002, №2.–с. 22–28.
86. Васильев Б.В., Мишуков Б.Г. и др. Технологии биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации // *Водоснабжение и санитарная техника*.–2001, №5.–с.22–25.
87. Вавилин В.А., Васильев В.Б., Рытов С.В. Моделирование деструкции органического вещества сообществом микроорганизмов.–М.: Наука.–1993.–208 с.
88. Эль Ю.Ф., Дайненко Ф.А. Обеспечение глубокой биологической очистки сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*.–1999, №8.–с.14–16.
89. Wentzel M.C., Ekama G.A., Marais G.v.R. Process and modeling of nitrification denitrification biological excess phosphorus removal systems – a review // *Wat. Sci. Tech.* –1992, vol.25, №6.–p.59–82.
90. Алексеев М.И., Мишуков Б.Г. и др. Удаление азота и фосфора из сточных вод Санкт–Петербурга // *Водоснабжение и санитарная техника*.–1998, №10.–с.11–12.
91. Эпов А.Н., Савельева Л.С. Перспективы достижения современных нормативов качества очищенных сточных вод по концентрациям биогенных элементов // *Современные методы очистки сточных вод и обработки осадков*.–М.: МГП»Мосводоканал».–1996.–с.60–73.
92. Олейник А.Я., Тетеря А.И. Моделирование процессов удаления азота из сточных вод на малогабаритных установках биологической очистки // *Прикладная гидротехника*.–2001, т.3(75), №3.–с.59–65.
93. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды.– М.: ВШ.–1978.–272 с.
94. Василенко О.А., Полішук О.В. Гідравлічний спосіб перемішування мулової суміші в безкисневих зонах технології біологічного видалення азоту і фосфору із стічних вод // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА. – 2006. – Вип.36. – С. 138-143.
95. Загорский В.А., Эль Ю.Ф. Реконструкция очистных сооружений канализации больших городов // *Водоснабжение и санитарная техника*.–1996, №6.–с.11–13.
96. Барак К., Бебен Ж., Бернар Ж. и др. Технические записки по проблемам воды «Дегремон». В 2–х т. / Пер. с англ. под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н.Чупбановой.–М.: Стройиздат.–1983.–607 с.
97. Modernisierung und Erweiterung der Klaranlage Prag nuttels Zentrifugentechnologie // *Fand S., Filtr und Spar*.–1995,9, №6.–p.276–277.

98. Козловская С.Б., Сорокина Е.Б. Энергосберегающая технология утилизации биогаза метантенков на городских очистных сооружениях канализации // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип.. 19.– Одеса: ОДАБА.–2005.–с.14–18.
99. Соколин Д.Д. Проблемы больших городов. Канализационные очистные сооружения больших городов.– М.: ГОСИНТИ.–1973.
100. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). – М.: Стройиздат, 1965. – 274с.
- 101.Василенко А.А. Водоотведение. Курсовое проектирование.–К.: Выща школа. –1988.– 256 с.
- 102.Василенко О.А., Поліщук О.В. Аналіз схем біологічної очистки стічних вод від сполук азоту та фосфору в аеротенках // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К.:КНУБА. – 2005. – Вип.4. – С. 74-83.
- 103.Давиденко О.І., Василенко О.А., Поліщук О.В., Петрова І. Ю. Впровадження технології біологічної очистки стічних вод від з'єднань азоту та фосфору на очисних спорудах одеського припортового заводу // Збірка доповідей VI міжнародного конгресу «ЕТЕВК-2007». – Ялта. – 2007. – С. 182-185.
- 104.Водовідведення і очищення стічних вод міста: Навчальний посібник / Г.М. Смірнова, С.М. Епоян та ін. – Харків: Каравела, 2003. – 144с.
- 105.Проектування мереж водовідведення стічних вод міста: Навч. посібник/ С.М.Епоян та ін. – Харків: Каравела, 2004. – 124с.
- 106.Эпоян С.М., Пантелят Г.С. Методы интенсификации обезвоживания осадков городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника.–1996, №9.–с.22–23.
- 107.Эпоян С.М., Сорокина В.Е. Особенности конструкций иловых площадок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТБ АБУ. – 2002. – Вип.18. – С. 152-154.
- 108.Эпоян С.М., Сорокина В.Е., Булгаков В.В. Опыт эксплуатации иловых площадок с искусственными основаниями и техническими средствами интенсификации водоотбора // Матер. докл. Шестого Международ. конгр. „Вода: экология и технология” (ЭКВАТЭК – 2004). – М., 2004. – Ч.2. – С. 681-682.