

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра водоснабжения, химии и экологии**

**О. К. НОВИКОВА**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И КАНАЛИЗАЦИИ**

**Учебное пособие**

**Гомель 2023**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА

# РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образова-  
ния по специальности «Водоснабжение, водоотведение  
и охрана водных ресурсов»*

Гомель 2023

УДК 628.2(075.8)  
ББК 38.761.2  
Н73

Рецензенты: кафедра водоснабжения и водоотведения Белорусского национального технического университета (заведующий кафедрой – канд. техн. наук, доцент *В. Н. Ануфриев*); доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета, канд. техн. наук *В. Д. Ющенко*;

**Новикова, О. К.**

Н73 Реконструкция систем водоснабжения и канализации : учеб. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 212 с.  
ISBN 978-985-891

Отражены причины неудовлетворительной работы систем водоснабжения и канализации и предложены пути их устранения за счёт реконструкции отдельных элементов или системы в целом. Содержит принципиальные подходы к вопросам интенсификации работы и реконструкции систем водоснабжения и канализации. Наиболее полно отражены сведения по реконструкции водозаборных сооружений, систем подачи и распределения воды, насосных станций, канализационных сетей и сооружений на них, очистных сооружений водоснабжения и канализации. Уделено внимание вопросам интенсификации процессов обработки осадков сточных вод.

Предназначено для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих дисциплину «Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения». Может быть рекомендовано специалистам, занимающимся вопросами интенсификации и реконструкции систем водоснабжения и канализации.

**УДК 628.2(075.8)**  
**ББК 38.761.2**

**ISBN 978-985-891-106-5**

© Новикова О. К., 2023  
© Оформление. БелГУТ, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
1 Современное состояние систем водоснабжения и канализации .....	7
1.1 Состояние систем водоснабжения и канализации в Республике Беларусь .....	7
1.2 Направления реконструкции систем водоснабжения и канализации в Республике Беларусь .....	12
2 Реконструкция и интенсификация работы водозаборных сооружений.....	16
2.1 Реконструкция водозаборных сооружений из поверхностных источников .....	16
2.1.1 Обследование и анализ состояния поверхностного источника водоснаб- жения.....	16
2.1.2 Направления реконструкции водозаборных сооружений из поверхност- ных источников .....	17
2.2 Реконструкция и интенсификация работы водозаборных сооружений из подземных источников .....	23
2.2.1 Обследование подземных водозаборов .....	23
2.2.2 Причины ухудшения работы скважин .....	26
2.2.3 Реконструкция с применением высокопроизводительных скважин .....	30
2.2.4 Методы восполнения запасов подземных вод.....	31
3 Реконструкция и интенсификация работы водопроводных очистных сооруже- ний .....	33
3.1 Обследование и анализ работы водопроводных очистных сооружений .....	33
3.2 Реконструкция сооружений для коагулирования .....	34
3.2.1 Интенсификация процесса коагуляции.....	34
3.2.2 Реконструкция сооружений по смешению реагента с водой .....	36
3.2.2 Реконструкция камер хлопьеобразования .....	42
3.3 Интенсификация осветления и отстаивания .....	44
3.3.1 Улучшение равномерности распределения подачи и сбора воды .....	45
3.3.2 Использование контактной загрузки.....	46
3.3.3 Установка тонкослойных блоков .....	47
3.3.4 Реконструкция систем удаления осадка .....	49
3.3.5 Реконструкция отстойников и осветлителей во флотаторы.....	50
3.4 Интенсификация фильтрования .....	52
3.4.1 Использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью.....	53
3.4.2 Фильтрование в направлении убывающей крупности зерен .....	54
3.4.3 Фильтрование с уменьшающейся по ходу потока скоростью .....	57
3.4.4 Фильтрование с уменьшающейся во времени скоростью.....	58
3.4.5 Предварительная реагентная обработка воды.....	59
3.4.6 Повышение эффективности регенерации загрузки .....	60

3.4.7	Совершенствование конструкций фильтра .....	63
3.5	Интенсификация обеззараживания .....	68
3.5.1	Обеззараживание гипохлоритом натрия или кальция .....	68
3.5.2	Ультрафиолетовое облучение.....	69
3.5.3	Озонирование.....	71
4	Реконструкция и интенсификация работы систем подачи и распределения воды ..73	
4.1	Обследование и оценка эффективности работы насосных станций, водопроводных сетей и регулирующих емкостей.....	73
4.1.1	Насосные станции.....	73
4.1.2	Водоводы и сети .....	79
4.1.3	Манометрическая съемка на сети.....	82
4.1.4	Моделирование работы магистральных и распределительных водопро- водных сетей.....	84
4.2	Увеличение пропускной способности систем подачи и распределения воды ..86	
4.2.1	Безбашенные системы .....	86
4.2.2	Башенные системы .....	91
4.2.3	Системы с узлами регулирования .....	92
4.3	Интенсификация работы насосных станций .....	94
4.3.1	Методы регулирования работы насосов .....	94
4.3.2	Методы управления насосной станцией .....	99
4.4	Реконструкция сетей водоснабжения .....	102
4.4.1	Восстановление пропускной способности трубопроводов .....	102
4.4.2	Бестраншейные методы реконструкции трубопроводов.....	103
4.4.3	Трубы, применяемые для восстановления и реконструкции сетей .....	107
5	Реконструкция систем канализации.....	109
5.1	Оценка работы систем канализации .....	109
5.2	Реконструкция канализационных сетей .....	111
5.2.1	Трубопроводы, применяемые при замене канализационных сетей .....	111
5.2.2	Усиление неконструктивных схем .....	113
5.2.3	Реконструкция сетей канализации при постоянной гидравлической перегрузке .....	116
5.3	Реконструкция канализационных насосных станций.....	118
5.4	Реконструкция устройств и сооружений на канализационных сетях .....	119
5.4.1	Реконструкция канализационных колодцев .....	119
5.4.2	Реконструкция выпусков сточных вод .....	120
5.5	Предотвращение выделения запахов от сетей канализации .....	121
6	Реконструкция и интенсификация работы очистных сооружений .....	123
6.1	Обследование и анализ работы очистных сооружений.....	123
6.1.1	Причины неудовлетворительной работы очистных сооружений.....	123
6.1.2	Анализ работы очистных сооружений.....	131
6.2	Реконструкция и интенсификация работы сооружений механической очистки.....	135
6.2.1	Решетки .....	135
6.2.2	Песколовки.....	137
6.2.3	Первичные отстойники .....	141
6.3	Реконструкция и интенсификация работы биофильтров .....	151
6.3.1	Применение новых видов загрузкиочных материалов .....	151

6.3.2	Реконструкция капельных биофильтров .....	152
6.3.3	Реконструкция высоконагружаемых биофильтров.....	154
6.3.4	Использование рециркуляции сточных вод .....	155
6.3.5	Применение искусственной вентиляции загрузки биофильтров.....	157
6.3.6	Применение комбинированных технологических схем .....	159
6.4	Реконструкция и интенсификация работы аэрационных сооружений с активным илом .....	162
6.4.1	Увеличение массы активного ила .....	162
6.4.2	Оптимизация работы аэрационной системы .....	164
6.4.3	Интенсификация перемешивания иловой смеси.....	167
6.4.4	Глубокая биологическая очистка в аэротенках с удалением азота и улучшенным биологическим удалением фосфора .....	169
6.5	Реконструкция и интенсификация работы вторичных отстойников.....	179
7	Реконструкция и интенсификация работы сооружений по обработке осадков сточных вод.....	181
7.1	Интенсификация илоуплотнения .....	183
7.2	Интенсификация стабилизации осадков сточных вод.....	187
7.2.1	Интенсификация работы аэробных стабилизаторов.....	187
7.2.2	Интенсификация работы метантенков .....	188
7.2.3	Аэробно-анаэробные и анаэробно-аэробные процессы стабилизации .....	196
7.3	Интенсификация обезвоживания осадков сточных вод .....	197
7.3.1	Механическое обезвоживание .....	197
7.3.2	Реконструкция иловых площадок .....	200
7.3.3	Обезвоживание осадков сточных вод в контейнерах <i>Geotube</i> .....	204
	Список литературы.....	207
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Основные характеристики реагентов .....	210

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ показателей эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения (канализации) нередко показывает необходимость их улучшения. Это связано с изменениями условий функционирования систем сравнительно с исходными (проектными) данными, а также с недостатками проектных решений. Улучшение достигается как новым строительством с заменой или расширением существующих объектов, так и реконструкцией. В последнем случае реализуются неиспользуемые потенциальные производственные мощности объектов и подлежат замене или разгрузке только те лимитирующие элементы, которые не способны нормально работать в требуемых более жестких условиях.

Особенность реконструкции заключается в том, что она должна проводиться с учетом существующей ситуации: стесненности производственных площадей, расположения объектов, их габаритов и технического состояния, недопустимости нарушения производственных процессов и т. д.

Реконструкция является наиболее эффективным способом улучшения работы системы, так как она требует меньшего объема работ, чем новое строительство.

Основной принцип реконструкции – снижение вложений в капитальное строительство и максимальное использование существующих сооружений.

Под «реконструкцией» принято понимать изменение параметров объектов капитального строительства, их частей, площади, показателей производственной мощности, объема и качества инженерно-технического обеспечения.

Модернизация – усовершенствование, улучшение, обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества.

До последнего времени не существовало отдельного термина, обозначающего внесение изменений в технологические процессы. Этим термином и является «ретехнологизация».

Ретехнологизация – комплекс действий по замене части существующих водоочистных технологий, морально и (или) физически устаревших, на современные технологии в целях качественного изменения показателей.

Таким образом, основным отличием реконструкции с ретехнологизацией от обычной реконструкции сооружений является введение новых технологических процессов на действующих сооружениях, что приводит к необходимости изменения функционального назначения отдельных блоков или их частей и (или) дополнительного комплекса очистки новыми сооружениями, предназначенными для выполнения функций, ранее не предусмотренных в проекте.

# **1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ**

## **1.1 Состояние систем водоснабжения и канализации в Республике Беларусь**

Одним из элементов, определяющих качество жизни населения, является уровень доступа к водоснабжению и канализации.

Управление водными ресурсами в отдельных районах и в целом в стране, обеспечивающее увеличение доступа населения к водоснабжению и канализации, является одним из факторов, определяющих качество жизни в стране.

Основная задача предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) – бесперебойное обеспечение всей совокупности абонентов и потребителей обслуживаемых населенных пунктов качественными услугами водоснабжения и водоотведения. Эта задача остается неизменной во времени вне зависимости от внешних обстоятельств.

Системы водоснабжения и канализации в крупных городах Республики Беларусь в отличие от малых населенных пунктов характеризуются развитием и надежностью, а строительство данных систем в малых населенных пунктах и отдельно расположенных объектах на протяжении многих лет отставало от потребности в них сельского населения и агропромышленных комплексов.

В последнее десятилетие ситуация в секторе водопроводно-канализационного хозяйства начала существенно изменяться. Действующие государственные программы и нормативно-правовые акты направлены на обеспечение потребителей водой питьевого качества, снижение антропогенного воздействия сточных вод на окружающую среду.

По данным, приведенным в Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда на 2016–2020 гг.», обеспеченность централизованными системами водоснабжения городского населения составляет 97,7 %, сельского населения – 68,9 % (в том числе населения агрогородков – 80,7 %), обеспеченность централизованными и местными системами хозяйственно-бытовой канализации городского населения составляет 91,9 %, сельского населения – 37,9 % [8]. А с учетом неполного охвата системами канализации площади городской застройки, а также их отсутствия в ряде отдельно расположенных объектов, количество населения, не имеющего такого доступа, фактически намного больше.



В настоящее время жилищно-коммунальное хозяйство Республики Беларусь динамично развивается. В начале 2020 г. из 83 организаций, оказывающих услуги водоснабжения и канализации, только 21 специализированная, что составляет 25 % (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Организации, оказывающие услуги водоснабжения и канализации [19]

Область	Количество предприятий	Из них специализированных
Брестская	19	5
Витебская	1	1
Гомельская	22	2
Гродненская	19	2
Могилевская	1	1
Минская	20	9
г. Минск	1	1
<i>Итого</i>	83	21

По состоянию на 2020 г. обеспеченность потребителей качественной питьевой водой в Республике Беларусь составляет 94,7 %.

Контроль за качеством воды, подаваемой населению, осуществляется на основании СанПиН 10-124 РБ 99 [31]. Превышение норматива по содержанию железа имеет место на более 50 % водозаборных скважин на территории страны. По данным ВОЗ употребление на протяжении всей жизни воды с повышенным содержанием железа может привести к проблемам со здоровьем (повышается риск инфарктов и появления аллергических реакций, могут возникнуть проблемы с печенью). Опасным считается употребление воды при концентрации железа общего более 2 мг/л.

Загрязнение подземных вод на территории страны обусловлено рядом факторов, среди которых имеют место как природные, так и техногенные.

По состоянию на 2020 г. общая протяженность сетей водоснабжения составляет 39527 км, из них: со сверхнормативным сроком – 13608 км (34,4 %) (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Протяженность сетей водоснабжения в Республике Беларусь [19]

В результате проведенной работы в 2016–2020 годах введено в эксплуатацию 646 станций обезжелезивания, 49 населенных пунктов к существующим централизованным системам водоснабжения с водой нормативного качества (рисунок 1.2), что позволило обеспечить около 400 тыс. человек питьевой водой надлежащего качества и увеличить процент показателя обеспеченности потребителей водоснабжением питьевым качеством на 7,2 процентного пункта [11]. В г. Минске обеспеченность потребителей качественной питьевой водой составляет 100 % с 2016 года.

По состоянию на 2020 г. в эксплуатации находится 10413 водозаборных скважин, 934 станции обезжелезивания [19].



Рисунок 1.2 – Обеспеченность потребителей качественной питьевой водой в Республике Беларусь [19]

Несмотря на выполнение значительного объема работ по развитию централизованного водоснабжения остаются нерешенными следующие проблемы:

- недостаточный уровень обеспеченности населения централизованным водоснабжением, особенно в сельской местности;
- недостаточный уровень обеспеченности населения питьевой водой нормативного качества из систем централизованного водоснабжения;
- несоответствие санитарным требованиям воды из источников нецентрализованного водоснабжения.

В Республике Беларусь в небольших городах, поселках городского типа и селах, которые можно отнести к малым населенным пунктам, проживает более 60 % населения. Сегодня всего лишь около 3 % сельских населенных

пунктов имеют централизованную хозяйственно-бытовую канализацию, что представляет большую опасность для окружающей среды и санитарной обстановки в стране.

Общая протяженность сетей канализации по состоянию на 2020 г. составляет 19 тыс. км, из них со сверхнормативным сроком – 5858 км (30,8 %) (рисунки 1.3). В эксплуатации находится 1445 очистных сооружений, из них 1184 поля фильтрации (таблица 1.2).



Рисунок 1.3 – Протяженность сетей канализации в Республике Беларусь [19]

Таблица 1.2 – Количество очистных сооружений и полей фильтрации [19]

Область	Количество, ед.			
	очистных сооружений биологической очистки	из них неэффективно работающих	полей фильтрации	из них, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду
Брестская	20	9	321	20
Витебская	70	11	103	2
Гомельская	18	8	225	18
Гродненская	31	6	181	–
Могилевская	64	6	191	12
Минская	58	12	163	3
<i>Итого</i>	261	52	1184	55

Несмотря на проделанную работу за 2016–2020 годы системы водоотведения (канализации) имеют следующие проблемы:

- высокий физический износ сетей канализации и очистных сооружений;
- отсутствие современных технологий и оборудования для очистки сточных вод. Большинство очистных сооружений, запроектированных и построенных в 70-х годах прошлого века, не соответствует современным требованиям к отведению очищенных сточных вод в водные объекты. Это обусловлено тем, что существовавшая на тот момент нормативная база не

содержала требований по глубокой очистке сточных вод от биогенных элементов, а ограничивалась полной биологической очисткой от органических загрязнений по БПК и взвешенным веществам.

- недостаточный уровень автоматизации и диспетчеризации технологических процессов;

- слабая пропускная способность и предрасположенность к засорению дождевой канализации;

- сброс в централизованные системы водоотведения (канализации) недостаточно очищенных производственных сточных вод вследствие несовершенства технологий очистки и неудовлетворительной эксплуатации действующих локальных очистных сооружений;

- неудовлетворительное состояние инженерных коммуникаций. Сточная вода, а также газы, выделяющиеся из нее на очистных сооружениях и в насосных станциях, оказывают агрессивное воздействие на инженерные коммуникации. В большинстве лотков и каналов насосных станций и очистных сооружений при изменении притока сточных вод (в часы максимального или минимального притока) изменяется и наполнение, что приводит к разрушению бетонных лотков на границе раздела фаз воздух - вода. В закрытых трубопроводах при застое воды и при образовании воздушных мешков происходит интенсивное выделение газов, которые могут образовывать слабо концентрированные кислоты, вызывающие коррозию материалов трубопроводов.

Основная цель развития водопроводно-канализационного хозяйства Республики Беларусь состоит в обеспечении в стратегической перспективе устойчивого водопользования, гарантированного права нынешнего и будущих поколений на обеспеченность водными ресурсами, повышение качества жизни населения, экономической и экологической безопасности страны по водному фактору.

Для эффективного функционирования водопроводно-канализационного хозяйства необходимо [19]:

- оптимизировать эксплуатацию и реконструировать сети водоснабжения и водоотведения (канализации) со 100 % физическим износом;

- предупреждать и прогнозировать появление аварийных состояний водопроводных и канализационных сетей и сооружений, принятых организациями ВКХ от сельскохозяйственных и других организаций;

- инвестировать в реконструкцию очистных сооружений канализации, которые имеют большой физический износ и отсутствуют современные технологии и оборудование для очистки сточных вод. Для этого необходимо провести реконструкцию 70 очистных сооружений;

- обучать персонал и внедрять современные технологии и оборудование.

Для формирования единой политики в сфере водопроводно-канализационного хозяйства в 2019 г. в Республике Беларусь в соответствии с

постановлением Совета Министров от 16 августа 2019 года № 545 создана республиканская специально уполномоченная организация – ГПО «Белводоканал».

Основная цель ГПО «Белводоканал» заключается в общем руководстве и координации деятельности в сфере водоснабжения и водоотведения (канализации) и в обеспечении равномерного доступа населения и субъектов хозяйствования к качественным услугам водоснабжения и очистки сточных вод.

Основные задачи, которые необходимо решать:

- совершенствование отраслевой политики и законодательной базы в сфере водоснабжения и водоотведения (канализации);
- осуществление равномерного развития систем водоснабжения и водоотведения (канализации) во всех регионах республики путем подготовки среднесрочных и долгосрочных программ;
- работа с научными учреждениями (научно-практическими центрами) через внедрение новых методов, методик, научно обоснованных нормативов и рекомендаций в сфере водоснабжения и водоотведения (канализации).

## **1.2 Направления реконструкции систем водоснабжения и канализации в Республике Беларусь**

Существующие инженерные системы водоснабжения и водоотведения (канализации) находятся в стадии эксплуатации от 50 до 80 лет и более.

Основными *причинами* низкой надежности систем водоснабжения и канализации являются:

- проекты существующих систем выполнены по старым нормативным документам, которые со временем были пересмотрены в сторону ужесточения требований;
- в эксплуатации находятся сооружения, проектирование и строительство которых выполнены по старым типовым проектам, сохранившим все недостатки, в том числе с низким гидравлическим совершенством конструктивных элементов. За это время многие элементы систем изменили свои характеристики;
- на очистных сооружениях сточных вод используются недостаточно эффективные процессы биологической и биохимической очистки;
- высокий износ сетей и сооружений, многие из которых эксплуатируются без выполнения каких-либо капитальных ремонтов в течение многолетней работы;
- сравнительно низкий уровень эксплуатации систем водоснабжения и канализации;
- неадекватность принятой в расчёты модели реальным условиям системы. При проектировании систем водоснабжения и канализации в основу гидравлических расчётов были положены аналитические зависимости (формулы), которые справедливы только для условия равномерного и установившегося движения. Фактически в реальных условиях режим движения воды

как в напорных, так и в безнапорных трубопроводах имеет неустановившийся режим движения жидкости. Поэтому принятые за основу расчёта формулы недостаточно объективно отражают влияющие на систему факторы;

– отсутствие законодательной базы, которая позволила бы обеспечить высокую степень надёжности работы сооружений с учётом экономического фактора. Необходимо совершенствовать законодательную систему, которая могла бы предусматривать механизм ликвидации всех недостатков, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения и канализации. Необходимо, чтобы в законе были отражены условия применения новых технологий, материалов и оборудования, с целью повышения надёжности, эффективности и энергосбережения системы.

Обеспечение потребителей качественной питьевой водой и улучшение качества очистки сточных вод являются приоритетными задачами, решить которые необходимо в рамках реализации основных программных документов:

– Директивы Президента Республики Беларусь от 4 марта 2019 г. № 7 «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны»;

– распоряжения Президента Республики Беларусь от 1 июля 2020 г. № 119 рп «О дополнительных мерах по решению актуальных вопросов жизнедеятельности населения»;

– Концепции совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 г., утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037.

Для повышения качества подаваемой потребителям воды, развития системы водоснабжения и улучшения качества очистки сточных вод утверждена новая госпрограмма «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы [11], которая включает подпрограмму «Чистая вода». Ее основные задачи:

– обеспечение потребителей водоснабжением питьевого качества;

– обеспечение населения централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации);

– повышение качества очистки сточных вод и надежности систем водоснабжения, водоотведения (канализации).

Для решения приведенных задач необходимо осуществить следующие мероприятия:

– строительство около 800 станций обезжелезивания воды;

– переподключение более 100 населенных пунктов к существующим централизованным системам водоснабжения с водой питьевого качества;

– перевод г. Минска на водоснабжение из подземных источников;

– строительство около 300 водозаборных скважин, а также иные мероприятия, направленные на обеспечение потребителей водоснабжением питьевого качества;

- повышение качества очистки сточных вод путем строительства и реконструкции 70 очистных сооружений сточных вод;

- развитие централизованных систем водоснабжения, водоотведения (канализации) путем строительства около 11,5 тыс. километров водопроводных и 11,2 тыс. километров канализационных сетей, в том числе в рамках Указа Президента Республики Беларусь от 22 декабря 2018 г. № 488 «О строительстве сетей водоснабжения, водоотведения (канализации)»;

- замена сетей водоснабжения и водоотведения (канализации) со сверхнормативными сроками эксплуатации.

Повышение надежности систем водоснабжения и водоотведения (канализации) позволит ежегодно сокращать потери и неучтенные расходы воды в целях достижения их значения не более 12 %.

Целевыми показателями подпрограммы «Чистая вода» по организациям, входящим в систему Министерства жилищно-коммунального хозяйства, являются:

- доля потребителей г. Минска, обеспеченных питьевой водой из подземных источников водоснабжения, должна составить к 2025 году 100 %;

- обеспеченность населения централизованными системами водоснабжения и водоотведения (канализации) к 2025 году – 93,2 и 79,3 %;

- строительство, реконструкция 70 очистных сооружений сточных вод;

- замена сетей водоснабжения, водоотведения (канализации) со сверхнормативными сроками эксплуатации – ежегодно не менее 3 % от общей протяженности сетей водоснабжения, водоотведения (канализации) со сверхнормативными сроками эксплуатации.

Для повышения производительности и эффективности работы существующих сетей и сооружений водоснабжения и канализации целесообразно осуществить их реконструкцию с использованием наиболее прогрессивных материалов, технологических приёмов, а также новых технологий и новых конструктивных элементов.

*Основные направления реконструкции систем водоснабжения:*

- широкое использование труб, изготавливаемых из полимерных материалов для устройства новых и ремонта старых водоводов и сетей;

- анализ работы насосного оборудования и его замена в случае неисправной работы (в неблагоприятных условиях работы насос может ежемесячно терять 2–3 % первоначальной производительности, вследствие физического износа деталей);

- использование современных технологий для диагностики и обследования систем водоснабжения;

- повышение пропускной способности и надежности работы водоводов;

- облицовка внутренних поверхностей трубопроводов гибкими рукавами.

- экономное использование и сокращение непроизводительных потерь воды;

- повышение надежности систем водоснабжения и водоотведения;
- защита окружающей среды и предотвращение истощения источников водоснабжения от загрязнения.

*Основные направления реконструкции систем водоотведения (канализации):*

- устройство систем канализации в малых населенных пунктах;
- повышение качества строительства новых сетей канализации и реконструкция уже существующих;
- снижение материалоемкости и трудозатрат при строительстве систем канализации;
- повышение качества очистки сточных вод на существующих очистных сооружениях с внедрением технологии удаления биогенных элементов;
- строительство новых очистных сооружений.

Реализация технологических процессов в условиях высокой неравномерности состава и расхода сточных вод вызывает необходимость реконструкции канализационных насосных станций, приёмных резервуаров, которых во многих случаях могут служить усреднителями и выполнять функцию одного из элементов аэробной или анаэробной стадии технологического процесса. Но основная сложность в достижении высокой эффективности удаления биогенных элементов заключается в оптимизации процессов нитри- и денитрификации и удаления фосфатов. Для этого применяются многостадийные процессы с рециркуляцией активного ила и внутренними рециклами иловой смеси, которые реализуются в биореакторах специальных конструкций или вписываются в конструкции коридорных аэротенков, широко применяемых на крупных очистных станциях.

Процесс реконструкции существующих систем водоснабжения и канализации должен отвечать следующим требованиям:

- малые затраты времени;
- минимальные затраты материалов и других средств,
- минимальная себестоимостью работ;
- обеспечение более высокого качества работы сооружений и систем;
- повышение гидравлических характеристик системы;
- соответствие систем водоснабжения и канализации современным требованиям, не противоречащим правовым основам Республики Беларусь.



## **2 РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

### **2.1 Реконструкция водозаборных сооружений из поверхностных источников**

Водозаборные сооружения являются первым элементом системы водоснабжения населенного пункта, поэтому от правильного проектирования, строительства и эксплуатации этих сооружений будет зависеть надежность подачи воды определенного качества конечному потребителю.

Повышение производительности действующих водозаборных сооружений из поверхностных источников может быть достигнуто путем их интенсификации, строительства нового комплекса или отдельных его элементов. Как правило, реконструкция сооружений оказывается экономически более выгодной, чем новое строительство, а иногда достаточным является восстановление производительности водозабора до первоначальной.

К основным *причинам снижения производительности водозаборных сооружений в процессе эксплуатации* относятся:

- 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.

#### **2.1.1 Обследование и анализ состояния поверхностного источника водоснабжения**

Для выяснения причин снижения производительности водозаборных сооружений проводится их **анализ и обследование**.

Детально *изучается* имеющаяся техническая документация, исполнительная проектная съемка, журналы эксплуатации, наличие инструкций по эксплуатации и регламента сооружений.

*Анализируются:*

- частота промывок решеток, сеток, подающих линий;
- качество промывки;
- частота и полнота 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 насосной станции первого подъема по сезонам,
- гидрологический режим источника водоснабжения;
- движение наносов и шуги в створе водозабора.

После этого *проводится обследование водозабора*, включающее:

1) осмотр (при необходимости водолазом) водоприемных отверстий оголовка, измерение вокруг него глубины;

2) апробацию 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);

3) замер уровней воды в реке, приемном и всасывающем отделении при одновременном замере подачи насосов.

Затем строится совместная характеристика насосов и водоводов, выполняется поверочный расчет и сопоставляются расчетные и фактические сопротивления подающих линий и водоводов. Определяются неразмывающие скорости для оголовков и незаиливающие – для подающих линий с учетом дисперсионного состава наносов. При необходимости проводится промывка и вновь повторяются замеры. После этого разрабатывают мероприятия по повышению производительности водозаборных сооружений [30].

### **2.1.2 Направления реконструкции водозаборных сооружений из поверхностных источников**

Направления реконструкции водозаборных сооружений из поверхностных источников:

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

2) реконструкция элементов водозаборного сооружения [32].

**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 производится *очистка оголовка* от наносов и *промывка подающих линий*:

– если в водоприемных отверстиях оголовка установлены решетки, их очистка производится граблями с лодок или со льда (в зимний период);

– если в оголовке установлены пористые кассеты, то они промываются так же, как и подающие линии – обратным током воды от насосов насосной станции первого подъема.

При заносе оголовка наносами производится его промывка водовоздушной смесью, горячей водой. При необходимости *устраиваются 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 (рисунок 2.1). 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.

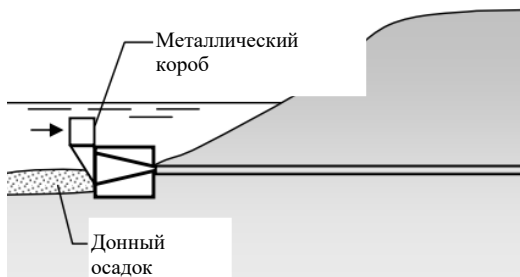


Рисунок 2.1 – Устройство металлического короба при заносе оголовка [30]

При **вмерзании оголовка в лед** устраивается **круговая запань** из деревянных коробов, которая сверху перекрывается матами, соломой, снегом. Такая же запань может служить и для защиты от шуги.

Если эффективность обратной промывки подающих линий и оголовка недостаточна, то применяется **импульсная промывка**.

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 (рисунок 2.2, а). После закрытия задвижки на подводящей трубе включают вакуум-насос. Уровень воды в колонне повышается и после ее наполнения вакуум-насос выключается. Затем открывается клапан впуска воздуха. Столб воды в колонне быстро падает, создавая волну положительного давления, воздействующую на подающие линии и оголовок. Затем столб воды по инерции проходит ниже уровня воды в реке, создавая отрицательные давления. Постепенно колебания уровня воды затухают (см. рисунок 2.2, б). При необходимости зарядка колонны повторяется.

**Биообрастания пористых касет**, установленных в оголовке, удаляются предварительным хлорированием воды с вводом хлора перед водоприемными окнами (концентрация остаточного хлора – не более 0,3 мг/л).

При **увеличении перепада уровней воды между приемным и всасывающим отделением колодца** производится промывка сеток. Плоские сетки промываются струей воды из брандспойта, для этого они поднимаются в надземную часть колодца, а на их место устанавливаются резервные. Вращающиеся сетки промываются водой под давлением 0,2–0,3 МПа при их вращении в направлении, обратном процеживанию.

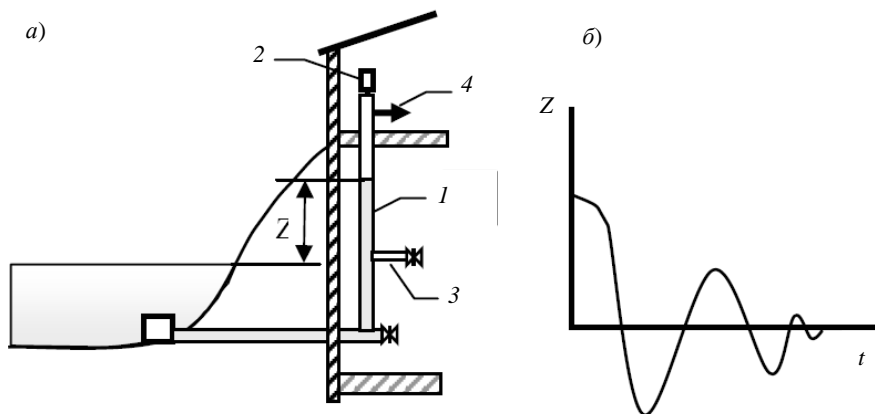


Рисунок 2.2 – Импульсная промывка подводящих линий и оголовка [30]:  
*a* – схема коммуникаций; *б* – график колебаний перепада уровня воды в колонне;  
 1 – колонна для импульсной промывки; 2 – клапан для впуска воздуха; 3 – трубопровод  
 обратной промывки; 4 – подключение вакуум-насоса

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.

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

Для обеспечения устойчивой работы водоприемников в приведенных условиях необходимо располагать их вне зоны распространения вдольбереговых течений или применять специальные сооружения и устройства, изменяющие направление вдольберегового течения (рисунок 2.3).

В случае невозможности строительства шпор или бунов реконструкция должна заключаться в строительстве дополнительных водоприемников вне зоны вдольбереговых течений.

При наличии общих благоприятных условий работы водозабора его производительность может быть повышена за счет замены насосного оборудования, при возможности увеличения забора воды из источника. В этом случае

необходимо проверить пропускную способность всех коммуникаций и провести профилактические мероприятия на водоприемниках: расчистить русло, углубить перекаты, обеспечить шугозащиту и т. д.

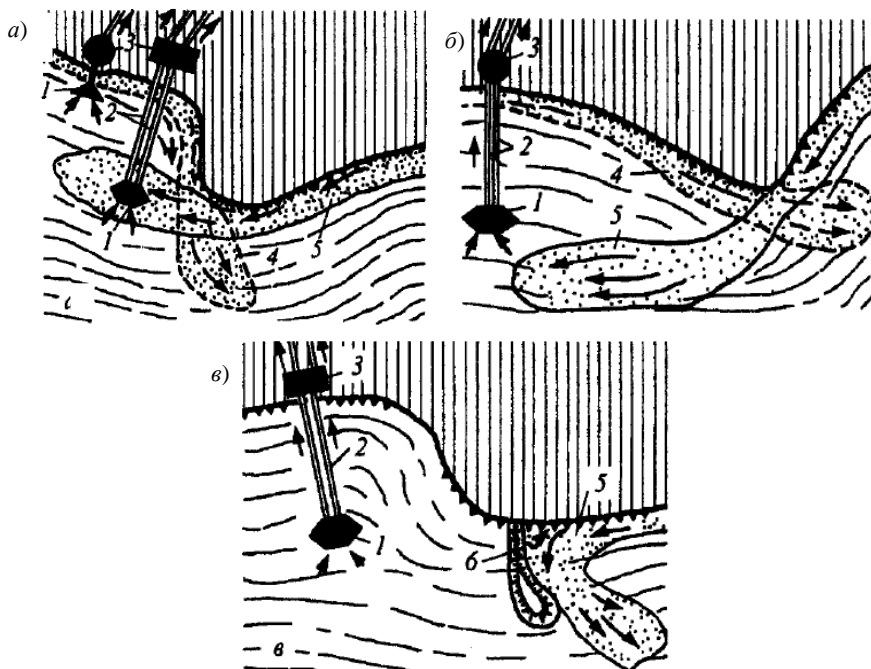


Рисунок 2.3 – Вдольбереговые течения на водохранилищных водозаборах [32]:  
*а* – водоприемник подвержен воздействию вдольбереговых течений; *б* – водоприемник не подвержен воздействию вдольбереговых течений; *в* – вдольбереговые течения при наличии взвесеперехватывающей шпору; 1 – водоприемник; 2 – подводные трубопроводы; 3 – береговой колодец; 4, 5 – вдольбереговые течения при различных направлениях ветра; 6 – взвесеперехватывающая шпора

Чаще всего наряду с заменой оборудования требуется строительство дополнительных водоприемников, самотечных или сифонных линий и напорных водоводов, которое может осуществляться в зависимости от местных условий (рисунок 2.4, *а*, *б*). При этом целесообразно строительство дополнительных оголовков с самостоятельными самотечными или сифонными трубопроводами.

Дополнительный оголовок необходимо вынести дальше в русло реки или, наоборот, приблизить к берегу, т. к. за период, предшествующий эксплуатации водозабора, могли измениться гидрологические условия, требования других водопользователей, появиться новые конструкции водоприемников и т. д.

Для увеличения надежности работы водозабора целесообразным является устройство дополнительного водоприемника, что позволит в экстремальных условиях предотвратить полную остановку водозабора (см. рисунок 2.4, в).

При невозможности дальнейшей эксплуатации русловых водоприемников из-за сложных условий можно устроить ковшевой водозабор (см. рисунок 2.4, з).

Если забор воды у берегов береговым водоприемником становится невозможным из-за интенсивного отложения наносов, понижения уровня воды в реке и других проблем, реконструировать водозабор можно, устроив дополнительный русловый затопленный водоприемник (см. рисунок 2.4, д).

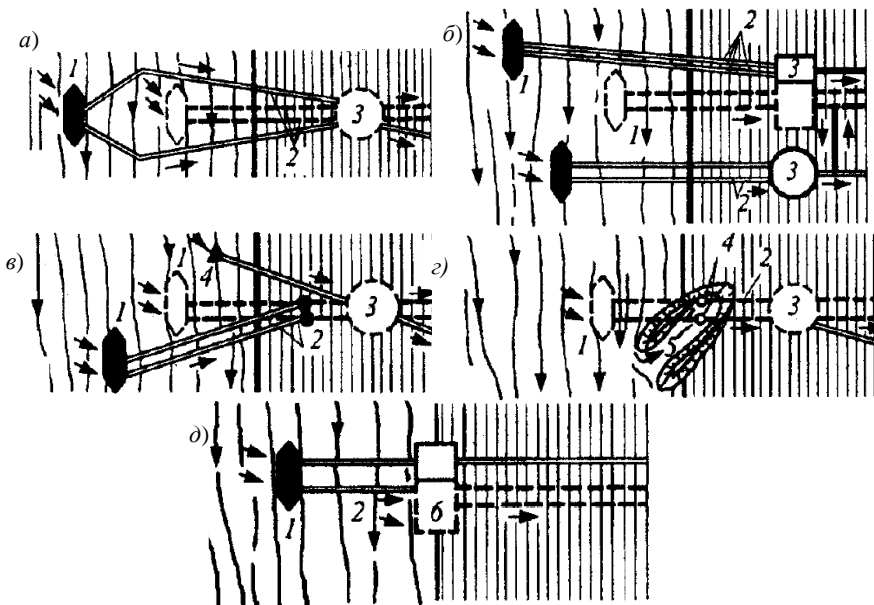


Рисунок 2.4 – Схемы реконструкции речных водозаборов [32]:

1 – водоприемные оголовки; 2 – самотечные или сифонные линии; 3 – береговой колодец, совмещенный с насосной станцией I подъема; 4 – раструбные оголовки; 5 – водоприемный ковш; 6 – береговой водоприемник (пунктир – первоначальные сооружения; двойная линия – сооружения последующего развития)

Когда исчерпаны возможности замены насосного оборудования, осуществляется строительство дополнительных насосных станций I подъема, что обеспечивает взаимное резервирование насосного оборудования.

Повышение производительности водозаборных сооружений может быть достигнуто новым строительством как отдельных элементов водозабора (оголовка, подающих линий, замена насосов), так и всего комплекса в целом.

На рисунке 2.5 приведен вариант расширения узла водозаборных сооружений раздельного типа при новом строительстве оголовка и сифонного трубопровода.

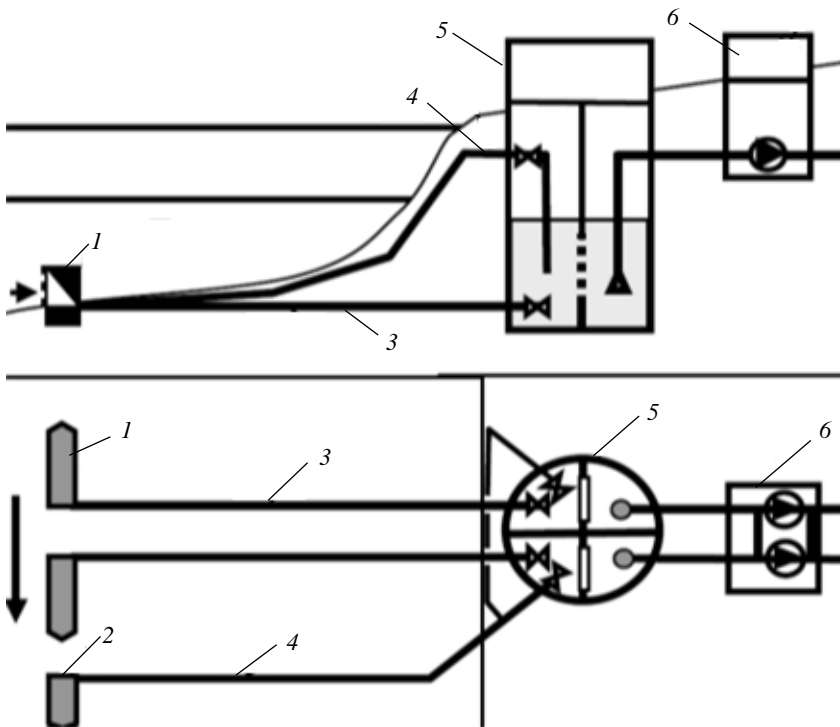


Рисунок 2.5 – Увеличение производительности узла водозаборных сооружений [30]:  
 1 – существующий водоприемный оголовок; 2 – новый водоприемный оголовок; 3 – самотечный трубопровод; 4 – сифонный трубопровод; 5 – колодец; 6 – насосная станция первого подъема

При строительстве нового комплекса водозаборных сооружений решаются 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.

## **2.2 Реконструкция и интенсификация работы водозаборных сооружений из подземных источников**

Необходимость интенсификации подземных водозаборов возникает в следующих случаях:

- дебит скважин снизился либо его необходимо увеличить;
- в откачиваемой воде появляются частицы водоносной породы;
- ухудшилось качество воды;
- необходимо снизить потребление энергии.

Интенсификации предшествует тщательное обследование сооружений.

### **2.2.1 Обследование подземных водозаборов**

**Обследование подземных водозаборов производится в несколько этапов:**

1) сбор и анализ документации по бурению, откачкам, монтажу водоподъемника, эксплуатации скважины, анализам воды, произведенным ранее ремонтам, обследованиям и т. д.;

2) по паспорту скважины осуществляется сверка местоположения, названия организации, бурившей скважину, способа бурения, абсолютной отметки поверхности земли;

3) анализ геологического разреза, конструкции скважины;

4) сопоставление материалов с гидрогеологическими данными по району;

5) уточнение сведений о фильтровой колонне: длина 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;

6) уточнение статического уровня воды, дебита, понижения, удельного дебита при опытной откачке и в период ее эксплуатации;

7) систематизация сведений по эксплуатации скважины: время эксплуатации, перерывы в работе насоса, причины остановок и пр.

Затем производится предварительное обследование скважины в натуре. Определяется марка насоса, его техническое состояние, наличие и состояние системы контроля и управления, арматуры и обвязки скважины. Осматривается устье скважины, проверяется цементация межтрубного пространства, устанавливается, как часто осуществляется промывка резервуаров чистой воды, берется проба осадка из него на анализ (возможно наличие песка).

При обследовании устья скважины обращается 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.

Наиболее распространенные методы диагностики и обследования скважин:



**1 Телевизионная диагностика.** Обследование скважин при помощи телеинспекции является наиболее удобным и достоверным способом оценки состояния скважинных фильтров, выявления недопустимого уровня шламовых отложений на забое скважины и проверки обсадной колонны на предмет степени коррозии и нарушения герметичности (механических повреждений, расстыковки швов и т. д.).

Также при помощи телеинспекции контролируется фактическая глубина, статический уровень воды, выявляются посторонние предметы в скважине и определяется способ их извлечения и т. д.

Телевизионная диагностика рекомендуется как при приемке новой скважины у строительной организации (для проверки глубины скважины, уровня и качества фильтров, качества труб и их соединений), так и при возникновении проблем с дебитом и качеством воды в ходе эксплуатации скважины.

По результатам телевизионной диагностики скважины, находившейся в эксплуатации, принимается решение о прочистке, либо ремонте тем или иным способом, либо закрытии.

Системы телеинспекции скважин (рисунок 2.6) имеют ряд отличий от систем телеинспекции горизонтальных трубопроводов водоснабжения и канализации:

– видеокамера для обследования скважин должна быть работоспособна при погружении в воду на большую глубину, соответствующую глубине водозаборных скважин;

– барабан системы телеинспекции скважин должен иметь специальный тормоз, который позволяет фиксировать положение кабеля и камеры и не допускать самопроизвольной размотки кабеля под собственным весом и весом видеокамеры.



Рисунок 2.6 – Схема телевизионной установки:

1 – камера бокового обзора; 2 – камера прямого обзора; 3 – две широкоугольные камеры бокового и прямого обзора с ручным переключением; 4 – сверхъяркая подсветка; 5 – видеомagneфон; 6 – переносной блок управления; 7 – экран; 8 – счетчик глубины; 9 – трехметровый управляющий кабель; 10 – переносной источник питания

Системы телеинспекции скважин оснащаются специальным устройством ввода кабеля в скважину (например, треногой с подвесным роликом, которая устанавливается над устьем скважины).

Системы телевизионной диагностики скважин с поворотной видеокамерой с приводами качания и ротации либо с камерой, состоящей из двух модулей (прямого и бокового обзора), существенно дороже, чем системы с камерой только прямого обзора, но они обеспечивают более качественный обзор стенок скважины.

К основным параметрам системы телевизионной диагностики скважин относятся допустимая глубина и диапазон диаметров обследуемых скважин.

*Допустимая глубина* обследуемых скважин определяется длиной кабеля и допустимой глубиной погружения видеокамеры.

*Диапазон диаметров* обследуемых скважин определяется, с одной стороны, диаметром видеокамеры, с другой – мощностью светильников камеры и наличием требуемых центраторов, необходимых для обследования обсадных колонн большого диаметра.

Современные системы телеинспекции водозаборных скважин оснащены цветными видеокамерами с высокой разрешающей способностью, которые позволяют увидеть даже небольшие дефекты обсадных труб, оценить уровень отложений, а также характер отложений (в том числе и по их цвету).

На сегодняшний день телевизионное обследование является достаточно распространенным, а во многих случаях и незаменимым методом диагностики водозаборных скважин, который становится все более доступным и удобным по мере развития систем телеинспекции.

**2 Гелиевая съемка водоносных горизонтов** применяется для постоянного контроля водоносных горизонтов, расположенных на различной глубине. При наличии гидравлической связи между водоносными горизонтами наблюдается изменение концентрации гелия (увеличение при перетоке снизу и уменьшение при поступлении воды из вышележащих слоев). Отбор проб производится наливным способом в гидрогеологическую колбу.

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

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

**3 Расходомерия скважин.** Замер уровня воды в скважине производится рулеткой с метрированным проводом или стальным канатиком, соединенным

с законечником, – электроуровнемером, который работает по принципу замыкания водой цепи между датчиком, опускаемым в скважину, и землей.

Для измерения уровня воды в скважине также 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 замеряется водомером, ультразвуковым накладным расходомером или другими расходомерами.

После этого установленным насосом или специально смонтированным водоподъемным оборудованием производится откачка воды и определяется статический уровень, динамический уровень и удельный дебит.

По полученным при обследовании данным выполняется поверочный расчет системы «скважина – потребитель». Зная материал труб, диаметры, фактическое сопротивление труб, строится пьезометрическая линия и сравнивается с данными манометрической съемки. Оценивается правильность подбора насосов, необходимость регулировки их работы, взаимовлияние скважин.

Кроме того, производится отбор проб воды на анализы (микробиологический, токсикологический и органолептический).

Подземные воды более чем в 70 % разведанных месторождений Республики Беларусь не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству природных вод, обладают высокой коррозионной активностью и поэтому без предварительной очистки не могут быть использованы для целей питьевого водоснабжения.

На многих водозаборах, расположенных вблизи промышленных предприятий и в зоне застройки городских территорий, в последние годы все чаще имеют место факты локального загрязнения подземных вод. Ухудшение качества подземных вод наблюдается на 36 водозаборах республики, а на 13 – содержание загрязняющих веществ по одному или нескольким ингредиентам превышает предельно допустимые концентрации [35].

### **2.2.2 Причины ухудшения работы скважин**

**Основными причинами ухудшения работы скважин** являются:

- неисправность насосного оборудования;
- пескование, глинизация фильтров и прифильтрового пространства солевыми отложениями;
- химическая или электрохимическая коррозия фильтров;
- снижение качества питьевой воды.

Наиболее частой причиной ухудшения работы скважин является *износ насосного оборудования*.

В погружных насосах с течением времени увеличивается зазор между рабочими колесами и уплотнениями, изнашиваются лабиринты колес,

лопаточных отводов и плавающих колец, возрастают объемные потери воды при перетекании ее через увеличивающиеся зазоры между вращающимися рабочими колесами и неподвижными частями насоса. В неблагоприятных условиях работы погружной насос ежемесячно может терять до 2–3 % первоначальной производительности вследствие физического износа деталей.

Таким образом, через 10–12 месяцев эксплуатации скважина из-за подработки погружного насоса может недодавать 20–36 % первоначального количества воды [37].

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

Причинами *пескования* скважин могут быть:

- неправильный выбор сетки или проволоки фильтра;
- неправильная установка фильтра, прорыв его рабочей части;
- износ фильтра высокими скоростями движения воды в нем;
- разрушение рабочей поверхности фильтра химической или электрохимической коррозией;
- износ сальников, обсадных труб и образования свищей в них;
- нарушение цементации затрубного пространства скважины и др.

В процессе эксплуатации водозаборных скважин удельный дебит их может уменьшаться, что обусловлено:

- зарастанием отверстий в фильтре и пор в окружающем фильтр водоносном слое солями железа, кальция, магния или биологической пленкой;
- механическим заклиниванием этих отверстий частицами, более мелкими, чем основная масса водоносной породы;
- снижением статического уровня из-за увеличения общего отбора воды из водоносного пласта вновь построенными скважинами;
- поступлением 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;
- изменением характеристик насосного оборудования.

Особым видом нарушения работы скважин является *ухудшение качества воды*, причинами которого являются:

- неправильная конструкция ствола скважины;
- отклонение от проекта при бурении и несоблюдение технических условий;
- плохое состояние зон санитарной охраны;
- поступления загрязненных поверхностных сточных вод, проникающих в водоносный пласт через устье скважины по незатампонированному или плохо затампонированному затрубному пространству;
- износ обсадных труб.

Если в процессе эксплуатации устанавливается ухудшение микробиологических показателей качества воды, то скважина дезинфицируется и выявляются источники загрязнения воды. Для устранения более стойких загрязнений очищаются трубы и насосное оборудование и обрабатываются надводная и подводная части скважины раствором хлорной извести (концентрацией до 50 мг/л), который вводится по заливочным трубам.

Анализ полученных в результате обследования данных позволяет установить причины снижения производительности скважины и наметить мероприятия по ее восстановлению (таблица 2.1).

**Таблица 2.1 – Анализ контрольных замеров и рекомендации по восстановлению производительности скважин**

Результаты контрольных замеров	Причины снижения производительности скважин	Рекомендации по восстановлению производительности скважин
Дебит, удельный дебит, статический уровень, содержание песка не изменилось; динамический уровень понизился, понижение увеличилось	Зараствания фильтра и при-фильтровой зоны осадками	Произвести профилактический ремонт, в дальнейшем интервал между такими ремонтами принять равным одному году
Понижение, удельный дебит и содержание песка не изменилось, но уменьшился дебит, понизились статический и динамический уровни	Сработка пьезометрического уровня по району (районная депрессия)	Увеличить глубину погружения насоса и продолжить эксплуатацию этого пласта либо перейти на нижележащий горизонт
Статический уровень и содержание песка не изменилось, дебит и удельный дебит уменьшились, динамический уровень понизился, увеличилось понижение	Зараствание фильтра и при-фильтровой зоны химическими осадками, а также неисправность насоса и накопление осадков в насосной линии	Демонтировать насос, осмотреть и устранить неполадки; в случае неисправности насоса произвести механическую очистку и обработку скважины; интервал планово-предупредительного ремонта скважины и насоса принять равным 1 году
Статический уровень, удельный дебит и содержание песка не изменилось, дебит и понижение уменьшились, динамический уровень повысился	Неисправность насоса	Произвести ремонт насоса, интервал между профилактическими ремонтами установить не более 1 года

Окончание таблицы 2.1

Результаты контрольных замеров	Причины снижения производительности скважин	Рекомендации по восстановлению производительности скважин
Подача равна нулю, статический уровень равен динамическому	Насос неисправен	Ремонт или замена насоса
Дебит и удельный дебит увеличились, статический уровень не изменился, динамический уровень повысился, понижение уменьшилось, содержание песка увеличилось	Неполная разглинизация скважины или продолжение формирования естественного обратного фильтра; на забое имеется песчаная пробка, не оказывающая заметного влияния на дебит скважины	Эксплуатацию скважины можно продолжать
Дебит не изменился либо уменьшился, статический уровень и содержание песка не изменилось, понижение и удельный дебит увеличились, динамический уровень понизился до критической отметки	Заращение фильтра и прифильтрового 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 месяцев
Статический уровень не изменился, первоначально песка не было, при замерах обнаружен песок; дебит и удельный дебит стремятся к нулю (подача воды пульсирует), понижение растёт, динамический уровень приближается к критической отметке (верх насоса)	Неисправность водоприёмной части (разрешение фильтровой или опускающей обсадной колонны, заполнение фильтра песком вследствие повреждения сальника, обмотки фильтра или неисправности изоляции отстойника)	Демонтировать насос, обследовать скважину и устранить неполадки, заменить фильтровую колонну

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

### 2.2.3 Реконструкция с применением высокопроизводительных скважин

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

Размещение высокопроизводительных водозаборов на существующей площадке головных сооружений имеет *преимущества*:

- отпадает необходимость освоения новых территорий;
- сохраняются зона санитарной охраны, часть коммуникаций и благоустройство;
- не нарушается расположение головных сооружений относительно других объектов водопровода.

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

Система совмещенных скважин, применяемая в различных гидрогеологических условиях, и, в частности, при слоистом строении водоносной толщи, представляет собой гравийный дренаж, водопримемная поверхность которого соответствует требуемой производительности водоприемника. Как следует из рисунка 2.7, система состоит из ряда скважин с пересекающимися контурами. Они заполняются промытым, дезинфицированным гравием расчетных фракций. Вода, захватываемая дренажом, поступает к рабочим скважинам, оборудованным стержневыми фильтрами и погружными насосами требуемой производительности.

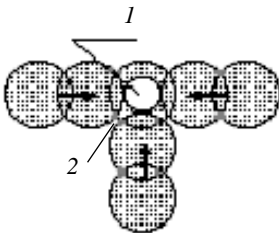


Рисунок 2.7 – Система совмещенных скважин [8]:

- 1 – рабочая скважина;
- 2 – выработка, загруженная гравием

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

Возможна и другая схема устройства гравийной обсыпки (рисунок 2.8).

До водоносного горизонта забой закрепляется кондуктором, затем опускается фильтр с башмаком-конусом, в ходе последующего бурения порода выбирается желонкой, а в забой подается гравий. В двухколонных скважинах увеличение дебита достигается за счет равномерной загрузки поверхности фильтров.

При одновременном отборе воды из скважины выше и ниже фильтра (из отстойника) действующий избыточный напор будет распределяться по длине фильтра равномернее, чем в обычных схемах.

Применение двухколонных скважин рекомендуется для интенсивного водосбора в пластах большей мощности.

Двухколонные скважины имеют существенно большую подачу при почти неизменном удельном дебите, т. е. расходе на 1 м понижения уровня подземных вод. Откачка воды в двух точках особенно желательна, если породы имеют наибольшую водопроницаемость в нижней части водоносного слоя.

#### 2.2.4 Методы восполнения запасов подземных вод

В некоторых случаях снижение производительности скважин может произойти в результате ухудшения условий питания водоносного пласта (уменьшение выпадения атмосферных осадков, дренирования территории и т. п.). В этом случае прибегают к искусственным методам пополнения запасов подземных вод.

*Искусственное пополнение запасов подземных вод* – это комплекс инженерных мероприятий, направленных на увеличение питания подземных вод, увеличение или сохранение эксплуатационных ресурсов водоносного горизонта или месторождения подземных вод, а также на улучшение или сохранение качества получаемой воды. В ряде случаев таким способом удается продлить срок работы существующих водозаборов.

Основным источником восполнения запасов подземных вод является речной сток. Другими источниками могут служить воды временных водотоков, дождевые и талые воды, воды шахтного водоотлива, вертикальных и горизонтальных дренажей при условии, если они удовлетворяют существующим требованиям к качеству воды.

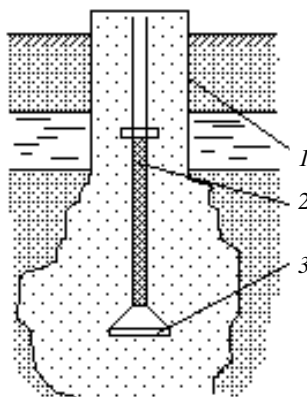


Рисунок 2.8 – Схема устройства гравийной обсыпки с применением башмака-конуса [8];  
1 – обсадная труба; 2 – фильтр;  
3 – башмак-конус



**Методы искусственного восполнения запасов подземных вод** подразделяются:

По *характеру воздействия на баланс подземных вод*:

– увеличения его приходной части (все виды поверхностной и подземной фильтрации, береговые и подруловые инфильтрационные водозаборы, мероприятия, способствующие накоплению подземного стока и переводу поверхностного стока в подземный);

– снижения его расходной части (устройство подземных плотин, увеличение подпора, более интенсивный отбор подземных вод, снижение транспирации и испарения с поверхности земли).

По *степени воздействия на баланс подземных вод*:

– сосредоточенного интенсивного воздействия (инфильтрация с помощью бассейнов, прудов, поглощающих скважины и т. п.);

– рассчитанные на длительное воздействие на значительных площадях (снегозадержание, орошение, снижение испарения с поверхности, задержание и регулирование поверхностного стока и др.).

По *целевому назначению*:

– на прямые методы – непосредственное восполнение или создание запасов подземных вод для целей водоснабжения;

– косвенные – методы искусственного создания запасов подземных вод в результате осуществления других мероприятий, не связанных с водоснабжением (орошение, создание водохранилищ, гидроузлов, каналов и т. д.).

По *техническому осуществлению* можно выделить два основных способа искусственного восполнения запасов подземных вод:

– поверхностная инфильтрация сырой воды;

– внутригрунтовая инфильтрация.

В соответствии с этими методами инфильтрационные сооружения систем искусственного восполнения делятся на два основных типа: открытые (бассейны, пруды, площадки, каналы и др.) и закрытые (скважины, колодцы, галереи).

Выбирая метод искусственного восполнения запасов подземных вод, всегда необходимо помнить, что он неизбежно предполагает искусственное изменение природных естественно сложившихся условий и процессов, которые могут иметь неожиданные последствия. Чрезмерное насыщение водой поверхностных слоев может привести к заболачиванию местности. Обогащение водоносных пластов недоброкачественными водами может вызвать ухудшение качества воды всего водоносного пласта.

## 3 РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 3.1 Обследование и анализ работы водопроводных очистных сооружений

**Анализ работы действующих очистных сооружений** начинается с изучения исполнительной проектной документации. Устанавливаются тип и конструкции сооружений, их размеры, проектные технологические параметры, особое внимание уделяется изменению конструкций за период эксплуатации, тщательно изучаются журналы эксплуатации.

Затем проводится детальный осмотр сооружений, при этом:

- уточняются габаритные размеры сооружений, диаметры коммуникаций, отметки всех характерных точек высотной схемы;
- тщательно осматриваются системы подачи и отвода воды и осадка;
- фиксируются виды, дозы и точки ввода всех реагентов, используемых на станции;
- определяется расход всей станции и отдельных сооружений;
- оценивается равномерность распределения воды между отдельными секциями станции и сооружениями;
- измеряются скорость фильтрования и интенсивность промывки фильтровальных сооружений, продолжительность фильтроцикла;
- строится кривая зависимости мутности воды в процессе промывки, а также определяются остаточные загрязнения в загрузке;
- определяется время пребывания воды в смесителях, камерах хлопьеобразования, отстойниках, время контакта при обеззараживании;
- по данным эксплуатации оценивается периодичность и качество промывки (сброса осадка) осветлителей или отстойников;
- анализируются показатели качества воды до и после каждой ступени очистки.

После сбора данных о работе станции выполняется **поверочный расчет**, целью которого является определение фактической (возможной) производительности и скоростей протекания технологических процессов и сравнение их с нормативными данными.

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

При определении расчетной производительности станции учитываются расходы воды на собственные нужды сооружений по данным осмотра и

замеров. Методика расчета сводится к вычислению скоростей движения воды, времени пребывания при заданном расходе и замеренных габаритных размерах сооружений.

Анализ результатов расчета заключается в сравнении полученных технологических параметров с нормативными. В случае несоответствия этих параметров необходимому технологическому режиму разрабатываются пути реконструкции.

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

Интенсификация работы очистных сооружений наряду с увеличением мощности станции водоподготовки состоит также в улучшении качества очищаемой воды, повышении экономической эффективности, заключающейся в снижении себестоимости воды, экономии реагентов, материалов, электроэнергии, оборудования. Поставленные задачи решаются:

- применением новых, более сложных и гибких технологических схем очистки воды;
- совершенствованием работы реагентного хозяйства в реагентных схемах очистки;
- повышением эффективности предварительной или первой ступени очистки;
- интенсификацией работы фильтровальных сооружений;
- использованием более рациональных способов и сооружений для дезодорации, обезжелезивания и обеззараживания воды.

## **3.2 Реконструкция сооружений для коагулирования**

### **3.2.1 Интенсификация процесса коагуляции**

Процесс коагуляции определяет эффективность последующего осветления и обесцвечивания воды. Совершенствование процесса коагуляции ведется по следующим основным направлениям:

- использование новых реагентов.
- оптимизация места ввода их в технологической цепочке,
- использование интенсивных режимов коагулирования.

На процесс коагуляции *влияют* температура, щелочность, состав воды (главным образом аммонийный состав).

При низкой температуре процесс коагуляции замедляется. Низкая щелочность очищаемой воды также затрудняет процесс коагулирования, поэтому

воду перед коагулированием необходимо *подщелачивать* (обычно гашеной известью).

Для осветления и обесцвечивания воды в основном используются: *сульфат алюминия; алюминат натрия; хлорид алюминия; сульфит и сульфат железа; хлорид железа; гашеная известь; сода* (таблица А.1).

Стандартным коагулянтом является *сульфат алюминия*, но он не эффективен при низких температурах, при обработке маломутных цветных вод, образует большое количество осадка, что затрудняет дозирование и работу реагентного цеха.

При выборе новых реагентов необходимо обращать внимание не только на эффективность процессов коагуляции и осветления и стоимость, но и на возможность внедрения этих реагентов на действующей станции с минимальными затратами, учитывать вопросы последующей их поставки, удаления и утилизации образующихся осадков.

В настоящее время применяются: *оксихлорид алюминия, гидроксилхлорид алюминия, гидроксилсульфата алюминия* 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 полиакриламиду (ПАА) пришли *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.

При обработке воды с низкой температурой наиболее эффективным является использование *оксихлорида алюминия*.

В большинстве случаев применение других флокулянтов вместо ПАА является предпочтительным. Однако характер действия различных флокулянтов неоднозначен. Использование катионных флокулянтов совместно с коагулянтом наиболее эффективно 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.

Для **интенсификации процесса коагуляции** применяется фракционированное, концентрированное или прерывистое коагулирование.

При *фракционированном* коагулировании раствор коагулянта вводится двумя или тремя последовательными порциями с интервалом времени между

вводами доз от 30–60 до 90–120 с, с делением общей дозы коагулянта на две примерно одинаковые порции или второй порции на 65–75 % меньше первой. После введения первой порции желательно проведение интенсивного перемешивания для диспергирования продуктов гидролиза.

Ввод коагулянта возможен в разных точках технологической схемы:

- порциями по высоте смесителя;
- частями по ходу движения потока (часть в смеситель, часть перед фильтрами).

Применение фракционированного коагулирования обеспечивает снижение дозы реагента, улучшение качества воды и увеличение фильтроцикла.

*Концентрированное* коагулирование заключается в дозировании требуемого расхода коагулянта в часть (около 30 %) обрабатываемой воды, а затем смешении ее с основным потоком, что обеспечивает ускоренное хлопьеобразование в одной части и удаление взвешенных веществ из коагулированной воды после смешения общих ее частей. Применение концентрированного коагулирования позволяет сэкономить до 20–30 % коагулянта.

При *прерывистом*, или *периодическом*, коагулировании часть времени коагулянт подается с повышенными дозами, затем его подача прекращается. При этом период коагулирования принят ориентировочно 0,5–3 ч.

Применение прерывистого режима коагулирования позволяет увеличить продолжительность фильтроцикла на фильтрах или контактных осветлителях с экономией 30–40 % коагулянта.

Изменение набора и точек ввода реагентов также может существенно улучшить качество очистки воды. Например, иногда целесообразна корректировка рН изменением точки ввода подщелачивающего реагента.

При вводе щелочи после коагулянта обеспечивается более глубокое обесцвечивание воды и экономия коагулянта.

При вводе щелочи после смесителя и перед фильтрами улучшается удаление гумусовых веществ на первой ступени очистки при низких рН.

### **3.2.2 Реконструкция сооружений по смешению реагента с водой**

Процесс смешения воды с реагентами оказывает существенное влияние на эффективность последующего осветления воды. Перемешивание реагентов с водой должно происходить в две стадии: быстрое – в смесителе и медленное – в камере хлопьеобразования (рисунок 3.1).

**Смесители** предназначены для равномерного распределения реагентов в потоке обрабатываемой воды и создания необходимых условий протекания химических реакций.

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.

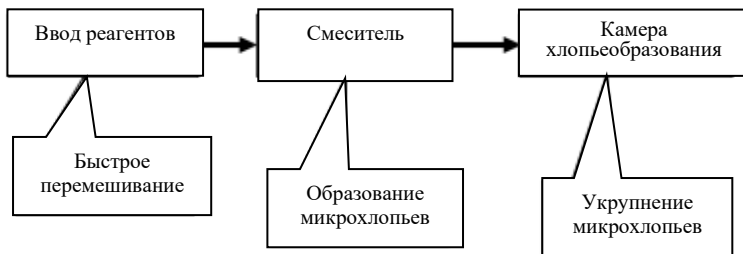


Рисунок 3.1 – Схема перемешивания [30]

Для интенсификации процесса смешения ввод реагента может осуществляться через специальные *распределители реагентов*, но при этом необходимо учитывать, что распределители создают дополнительное сопротивление основному потоку воды, поэтому при их внедрении необходимо произвести перерасчет отметок высотной схемы сооружений.

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

**Распределители** реагентов бывают:

- *перфорированные* – используются для растворов реагентов, не содержащих примесей;
- *струйные и диффузорные* – для реагентов, образующих суспензии (например, известь).

*Трубчатый перфорированный распределитель* (рисунок 3.2) состоит из центрального бачка, в который радиально врезаются перфорированные лучи. Реагент подается по трубе или шлангу в центр бачка.

Количество лучей, отверстий и их диаметры определяется расчетом в зависимости от дозы реагента. Перфорированный распределитель устанавливается либо в трубопроводе, либо в смесителе, либо на входе в канал. Место установки зависит от необходимого разрыва времени между вводом разных реагентов.

*Камерно-лучевой распределитель* (рисунок 3.3), обеспечивающий лучшее смешение реагентов с обрабатываемой водой, состоит из камеры, внутри которой расположен циркуляционный патрубок, открытый с двух сторон. В камеру распределителя радиально врезаются перфорированные лучи, второй конец которых открыт и срезан под углом 45°.

Распределитель устанавливается по оси потока. Обрабатываемая вода входит в циркуляционный патрубок снизу и в камере происходит первичное

смешение воды с реагентом, поступающим сверху. Затем 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 целесообразно применять для ввода реагентов в лоток.

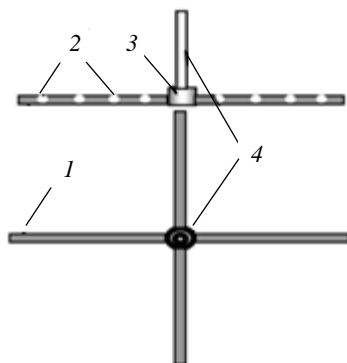


Рисунок 3.2 – Трубчатый перфорированный распределитель [30]:  
1 – лучи; 2 – отверстия; 3 – центральный бачок; 4 – подача реагента

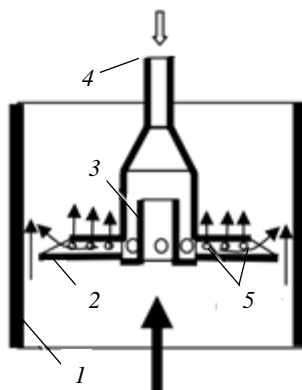


Рисунок 3.3 – Камерно-лучевой распределитель [30]:  
1 – корпус трубопровода; 2 – луч; 3 – циркуляционный патрубок; 4 – подача реагента; 5 – отверстия для выхода реагента

Распределители *струйного* типа предназначены для быстрого смешения суспензий реагентов с водой в напорных трубопроводах диаметром 200–1400 мм.

В зависимости от диаметра трубопровода в него может быть врезано 2–5 струйных распределителя:

- для трубопроводов диаметром 200–400 мм (рисунок 3.4) устанавливается два распределительных элемента;
- 500–700 мм – три;
- 800–1000 мм – четыре;
- 1200–1400 мм – пять.

Распределители могут устанавливаться как на горизонтальных, так и на вертикальных участках трубопроводов. В месте установки распределителя расстояние от поверхности трубопровода до ограждающих конструкций должно быть не менее 300 мм.

Каждый элемент распределителя выполняется в виде трубки, введенной срезанным концом в трубопровод через сальниковое устройство. Срез патрубка выполняется под углом 80° и выход реагента направляется по ходу потока (рисунок 3.5). Если патрубок будет развернут навстречу потоку, то

возникнет дополнительное сопротивление за счет скоростного напора, препятствующее выходу реагента.

На противоположном конце трубки снаружи трубопровода устанавливается запорная арматура или струбцина на резиноканевом рукаве.

Диаметр выпускного отверстия распределительного элемента принимается 8–15 мм.

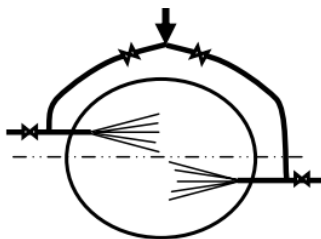


Рисунок 3.4 – Схема врезки струйных распределителей в трубопровод [30]

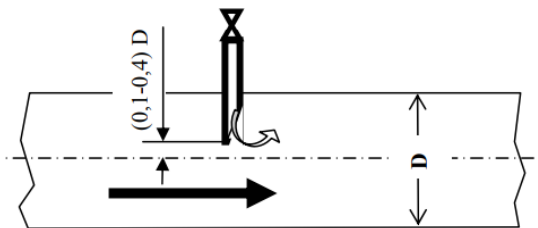


Рисунок 3.5 – Струйный распределитель [30]

Для интенсификации перемешивания в **вихревом смесителе** может использоваться *загрузка* либо *перегородки*.

В качестве загрузки применяется крупнозернистый песок во взвешенном состоянии (рисунок 3.6). Песок улучшает распределение потока по сечению смесителя и является контактной средой, улучшающей процесс коагуляции. Крупность песка подбирается исходя из скорости поступающего потока так, чтобы песок находился во взвешенном состоянии. При отключении смесителя необходимо предварительно выгрузить песок.

Установка горизонтальных перегородок с отверстиями, расположенными в шахматном порядке при скорости выхода 1 м/с (рисунок 3.7), способствует увеличению эффекта отстаивания.

Своевременное удаление свободной углекислоты из сферы формирования микрохлопьев значительно ускоряет дальнейший ход коагуляции.

Введение сжатого диспергированного воздуха (аэрирование) в смеситель после добавления коагулянта с некоторым разрывом во времени позволяет удалить из зоны коагуляции образующийся при разложении угольной кислоты диоксид углерода.

Аэрирование воды может осуществляться в открытых смесителях гидравлического типа (вихревых и перегородчатых) и дополнительных сооружений не требуется. Конструкции трубчатых аэраторов приведены на рисунке 3.8.

Раствор коагулянта вводится в подающий трубопровод или при входе воды в смеситель, а диспергированный воздух вводится непосредственно в смеситель. Время аэрирования принимается равным времени пребывания в смесителе.



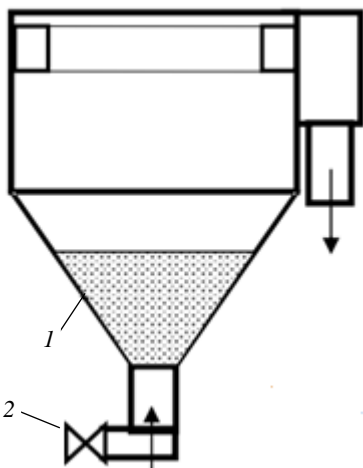


Рисунок 3.6 – Смеситель с контактной песчаной загрузкой [30]:  
1 – песок; 2 – патрубком для выгрузки песка

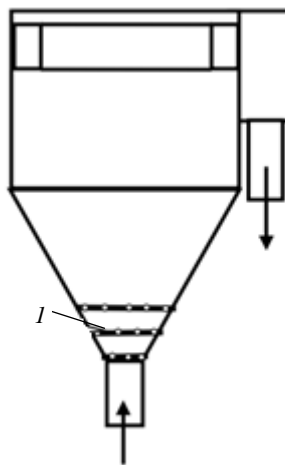


Рисунок 3.7 – Смеситель с дырчатыми перегородками [30]:  
1 – перегородки для распределения потока

Аэраторы в смесителях располагаются на глубине не менее 3 м от поверхности воды.

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

Аэратор в *перегородчатых смесителях* выполняется в виде коллектора с ответвлениями. Расстояния между ответвлениями принимают не более 0,7–1,0 м. Аэраторы в перегородчатых смесителях располагаются на подставках высотой 0,1–0,15 м от дна, а в *вихревых смесителях* – в конической его части на высоте 1,5–2,0 м над входным отверстием. Наименьшая высота расположения аэратора в вихревых смесителях принимается при наклоне стенок нижней части, равном  $45^\circ$ .

Отверстия в трубах аэратора просверливаются диаметром 3–4 мм по одной или двум образующим с постоянным шагом.

Все отверстия направляются вниз по вертикальной оси или под углом  $45^\circ$  к ней. Для предотвращения слипания пузырьков минимальное расстояние между отверстиями (в осях) принимается не менее 10 диаметров распределительной трубы.

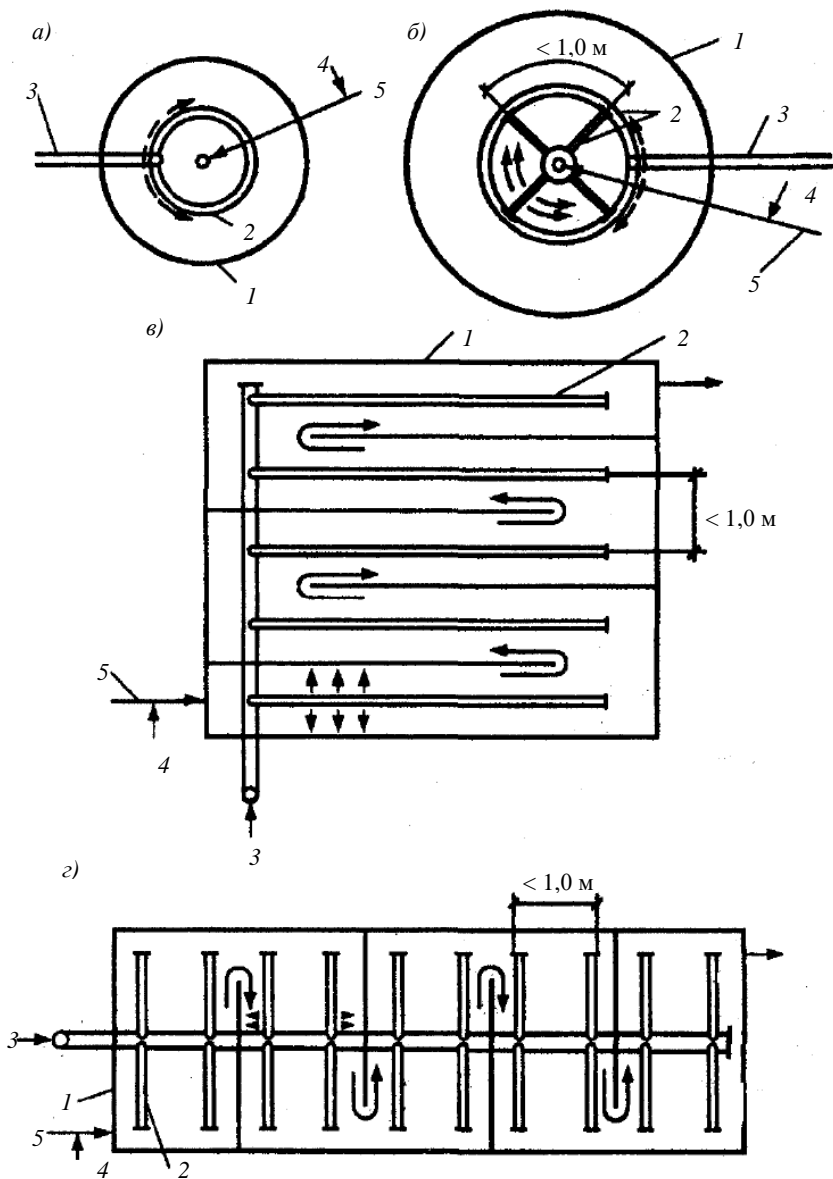


Рисунок 3.8 – Трубчатые аэратеры [37]:

*a, б* – при смесителях вихревого типа; *в, г* – при смесителях перегородчатого типа;  
 1 – корпус смесителя; 2 – дырчатые ответвления для распределения воздуха; 3 – магистраль  
 (коллектор) для подачи воздуха; 4 – подача коагулянта; 5 – подача воды

*Расчетные скорости движения воздуха, м/с, принимаются:*

- на магистральном трубопроводе – 10–12;
- в начале дырчатых ответвлений – 8–10;
- на выходе из отверстий – 20–30.

*Интенсивность аэрации* принимается равной 70–80 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Аэрирование в количестве 10–30 % от расхода обрабатываемой воды позволяет снизить расход коагулянта на 25–30 % и улучшить качество обработки воды [32].

### 3.2.3 Реконструкция камер хлопьеобразования

Процессы хлопьеобразования оказывают значительное влияние на эффективность очистки воды на стадиях ее отстаивания и фильтрации. В России и Республике Беларусь в основном используются гидравлические камеры хлопьеобразования, основным недостатком которых является низкая эффективность работы, особенно при очистке маломутных цветных вод.

В процессе реконструкции могут быть использованы следующие модификации камер хлопьеобразования:

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

**Контактные камеры хлопьеобразования** целесообразно применять в технологических схемах осветления мало- и среднемутных цветных и высокоцветных вод с длительным периодом низких температур. Такие камеры являются самопромывающимися, так как в процессе их работы, по мере накопления избыточного количества взвешенных веществ и под их тяжестью, происходит расширение зернистого слоя. Накопившиеся хлопья легко вымываются потоком осветляемой воды.

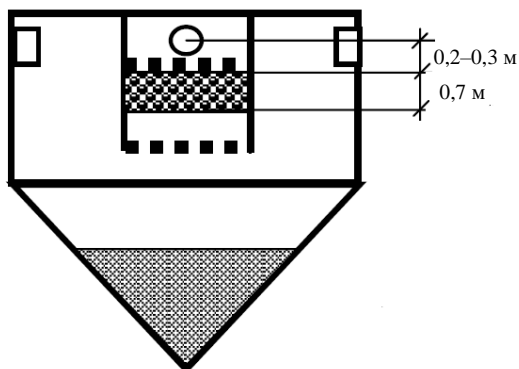
При проектировании предусматривается создание удерживающей решетки, рассчитанной на силу всплытия плавающей загрузки и на предотвращение уноса при промывке через распределительную систему.

На рисунке 3.9 приведена водоворотная камера хлопьеобразования, в которой устанавливаются две удерживающие решетки. Между ними располагается плавающая загрузка крупностью 20–40 мм высотой 700 мм.

Для загрузки камер хлопьеобразования применяются *полимерные плавающие материалы* типа пенопласта полистирольного.

В условиях обработки маломутных холодных вод водоворотные камеры хлопьеобразования, встроенные в вертикальные тонкослойные отстойники, могут быть реконструированы в контактные (рисунок 3.10). Предусматривается точечная подача воды. Устанавливаются две поддерживающие решетки, между которыми загружается плавающий зернистый материал. При сбросе осадка из отстойника одновременно происходит промывка этой плавающей загрузки.

Рисунок 3.9 – Водоворотная камера хлопьеобразования с контактной средой [30]



Для интенсификации работы сооружений, в которых процессы хлопьеобразования осуществляются в слое взвешенного осадка, могут использоваться **тонкослойные камеры хлопьеобразования**. Их отличительной особенностью являются тонкослойные элементы, установленные в зоне взвешенного осадка и способствующие повышению его концентрации и увеличению гидравлической крупности (см. п. 3.3.3).

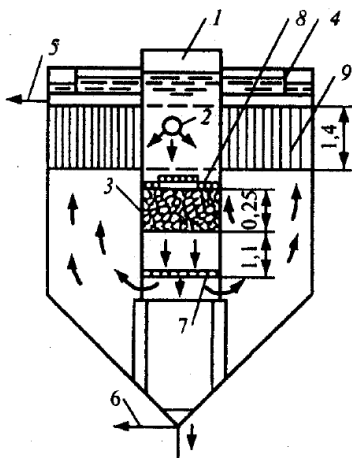


Рисунок 3.10 – Контактная камера хлопьеобразования встроенная в вертикальный тонкослойный отстойник [37]:

1 – камера хлопьеобразования; 2 – подача исходной воды; 3 – контактная плавающая загрузка; 4 – сборный лоток; 5 – отвод осветленной воды; 6 – сбор осадка; 7, 8 – нижняя и верхняя поддерживающие решетки; 9 – тонкослойные сотоблоки

Уменьшение времени хлопьеобразования при низкой температуре воды и снижение дозы коагулянта могут быть достигнуты введением *замутнителей*:

- высокодисперсной глинистой взвеси в количестве 10 мг/л;
- промывных вод фильтров;
- осадка отстойников и осветлителей.

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

Реконструкция камер хлопьеобразования в флокулятор (механическую камеру хлопьеобразования) заключается в установке мешалок с регулируемым приводом. Число мешалок принимается по данным пилотных исследований – от трех до пяти. Как правило, мешалки располагаются в два ряда по ширине камеры хлопьеобразования (рисунок 3.11). Для циркуляции воды по длине камеры устанавливаются перегородки (рисунок 3.12).

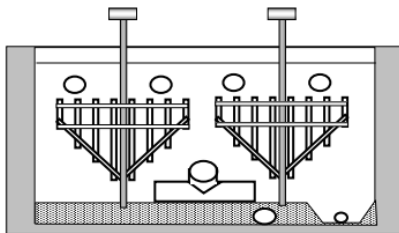


Рисунок 3.11 – Установка механических мешалок в камерах хлопьеобразования [30]

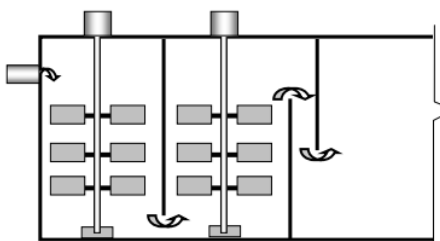


Рисунок 3.12 – Продольный разрез механической камеры хлопьеобразования, встроенной в горизонтальный отстойник [30]

Механическое перемешивание обеспечивает:

- повышение эффективности процесса осветления воды на 70 %, причем около 20–50 % обеспечивается за счет быстрого перемешивания 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 на 20–30 %;
- повышение технико-экономических показателей процесса фильтрации и уменьшение объема осадка.

### 3.3 Интенсификация осветления и отстаивания

К основным способам *повышения эффективности работы* отстойников и осветлителей относятся:

- совершенствование распределительных систем подачи и сбора воды;
- применение контактной загрузки;
- применение механических камер хлопьеобразования;
- создание в отстойнике ламинарного режима движения воды путем использования тонкослойных элементов или блоков;

- рециркуляция осадка;
- совместное использование рециркуляторов и тонкослойных модулей;
- совершенствование систем удаления осадка;
- реконструкция отстойников (осветлителей) во флотаторы.

### 3.3.1 Улучшение равномерности распределения подачи и сбора воды

Эффект осветления в отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка 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).

Равномерность распределения воды может быть достигнута следующими способами:

- устройство бетонного откоса в подающем канале горизонтальных отстойников – для выравнивания расходов отдельных секций (рисунок 3.13);
- установка струенаправляющего щита – для улучшения равномерности входа в сооружение при точечной подаче воды (рисунок 3.14).

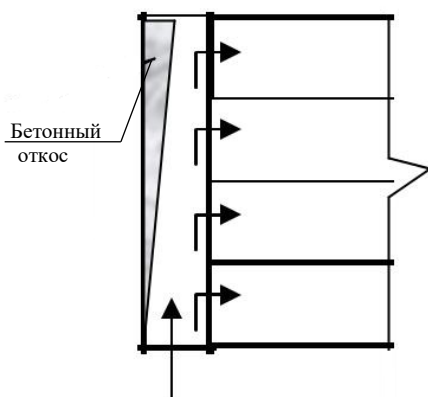


Рисунок 3.13 – Изменение формы канала [30]

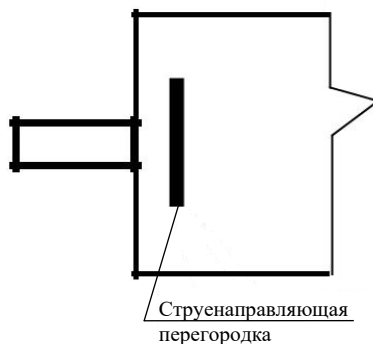


Рисунок 3.14 – Установка направляющей перегородки [30]

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 (рисунок 3.15).

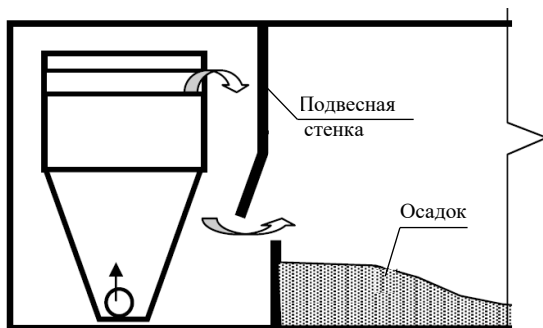


Рисунок 3.15 – Установка подвесной стенки в горизонтальном отстойнике с вихревой камерой [30]

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

Для равномерного сбора осветленной воды в отстойниках применяется система горизонтальных подвесных желобов или труб, на боковых стенках которых находятся затопленные отверстия диаметром не менее 25 мм при скорости движения воды в них 1 м/с. Расчетная скорость в конце желоба или трубы должна быть 0,6–0,8 м/с, верх желоба поднят на 0,1 м выше максимального уровня воды в отстойнике.

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

### 3.3.2 Использование контактной загрузки

Использование контактной загрузки способствует равномерному распределению потока и улучшает процесс формирования хлопьев.

Контактная загрузка может располагаться в зоне распределения в рабочих коридорах осветлителей со слоем взвешенного осадка (рисунок 3.16), в камерах хлопьеобразования. Промывка такой загрузки осуществляется путем сброса воды из осветлителя, во время которого загрузка расширяется вниз.

При реконструкции горизонтального отстойника предусматривается монтаж дополнительной системы подающих трубопроводов и сбросной трубопровод для промывки контактной загрузки (рисунок 3.17).

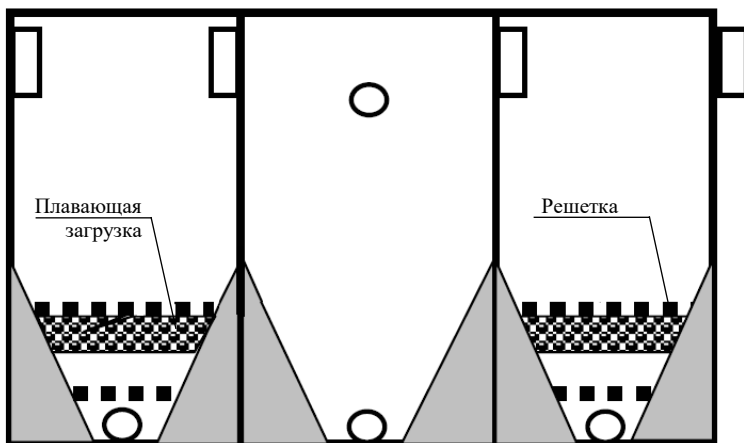


Рисунок 3.16 – Осветитель со слоем взвешенного осадка и контактной загрузкой [30]

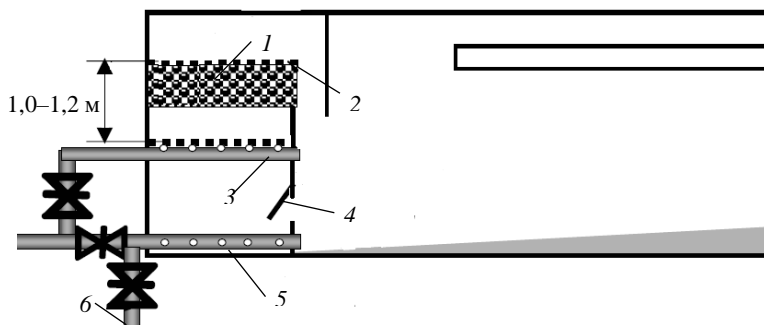


Рисунок 3.17 – Камера в горизонтальном отстойнике [30]:  
 1 – плавающая загрузка; 2 – удерживающая решетка; 3 – подающий трубопровод;  
 4 – лаз; 5 – промывной трубопровод; 6 – сбросной трубопровод

### 3.3.3 Установка тонкослойных блоков

Уменьшение высоты зоны осаждения обеспечивает увеличение эффекта отстаивания воды. При малой высоте потока существенно сокращается длина траектории, на которой выпадают частицы.

Применение отстойников с тонкослойными блоками (модулями) позволяет значительно увеличить нагрузку (в 2–3 раза) или снизить объем сооружения.



Выпавшие в осадок частицы благодаря наклону тонкослойного блока сползают на дно отстойника. Кроме того, из-за малой толщины потока он ламинаризуется, что также способствует повышению эффекта очистки.

В настоящее время изготавливаются тонкослойные модули различной конфигурации.

В качестве тонкослойных элементов могут использоваться *блоки из полиэтиленовой пленки*, установленные под углом к горизонту  $70-75^\circ$  (рисунок 3.18).

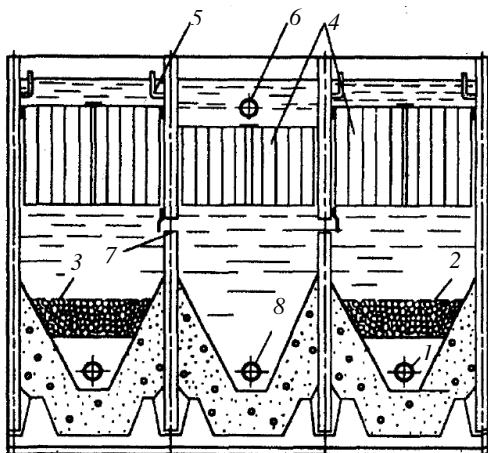


Рисунок 3.18 – Тонкослойный осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования [37]:

- 1 – подача исходной воды;
- 2 – плавающая зернистая загрузка;
- 3 – решетка, задерживающая загрузку от всплывания;
- 4 – тонкослойные блоки;
- 5 – сборные желоба;
- 6 – сбор воды из шламоуплотнителя;
- 7 – осадкоотводящие окна;
- 8 – трубы для удаления осадка

Эффективность работы тонкослойных блоков также зависит:

- от качества подготовки хлопьев, поступающих на осаждение;
- равномерности сбора и распределения воды;
- надежности системы удаления осадка.

При реконструкции отстойников и осветлителей необходимо:

- повысить эффективность хлопьеобразования;
- увеличить коэффициент объемного использования этих сооружений;
- принимать высоту защитной зоны от осадка до тонкослойного блока в вертикальном отстойнике – 1,5 м, в горизонтальном – 1 м;
- высоту зоны сбора осветленной воды – не менее 0,4–0,5 м;
- обеспечить равномерность сбора и распределения воды по всей площади установки блоков;
- проверить систему и периодичность сброса осадка, так как его накопление под тонкослойным блоком ухудшит их работу;
- принимать меры к улучшению процесса хлопьеобразования (при установке тонкослойного блока в горизонтальных отстойниках);

– устанавливать вертикальные перегородки для устранения горизонтальных перетоков;

– предусматривать промывку тонкослойного блока не реже 1 раза в месяц.

Тонкослойные блоки, установленные в зоне взвешенного осадка коридорных осветлителей, обеспечивают коэффициент объемного использования этих сооружений до 0,9–0,92, улучшение качества осветленной воды в 1,5–1,8 раза при одновременном увеличении нагрузки на сооружения в 1,3–1,7 раза [37].

По сравнению с традиционной флокуляцией в объеме, взвешенный слой, образованный в замкнутом пространстве тонкослойных блоков, характеризуется более высокой концентрацией твердой фазы и устойчивостью к изменениям качества исходной воды и нагрузки на сооружения.

Иногда при реконструкции предусматривается установка двух рядов тонкослойных блоков: над распределительной системой и под окнами в осадкоуплотнителе, что обеспечивает увеличение периодичности сброса осадка и сокращение расхода сбрасываемой воды, при этом повышается плотность осадка.

### 3.3.4 Реконструкция систем удаления осадка

Дырчатые системы для удаления осадка не всегда обеспечивают достаточную продувку отстойников. В этих случаях целесообразна установка донных клапанов либо применение напорного гидросмыва.

Применение донных клапанов требует реконструкции днища сооружения. В дне отстойника устраиваются опрокинутые бункеры (рисунок 3.19), под которыми прокладывается лоток или труба для удаления осадка.

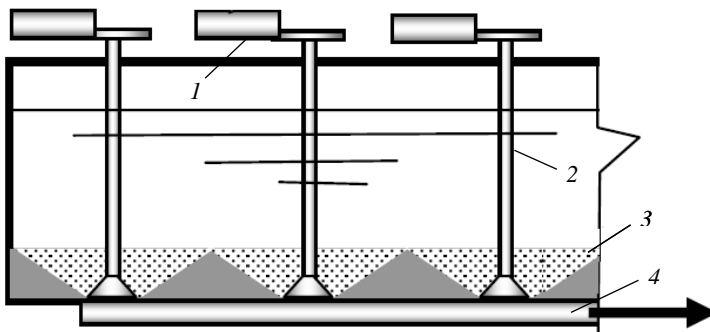


Рисунок 3.19 – Схема отстойника с донными клапанами [30]:

1 – электропривод; 2 – донный клапан; 3 – зона уплотнения;

4 – трубопровод сбора осадка

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

Установка системы гидросмыва рекомендуется при обработке мутных вод. При ширине отстойника 6 м укладываются три трубы (рисунок 3.20), в которых монтируются насадки через 1 м, а в конце (1/4 длины) – через 1,5 м.

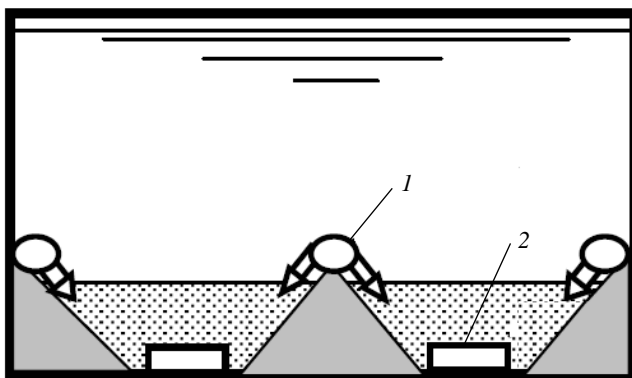


Рисунок 3.20 – Поперечный разрез отстойника с гидросмывом осадка [30]:  
1 – система гидросмыва; 2 – система удаления осадка

Насадки выполняются из бронзы диаметром сопла 10 мм, длиной 60 мм. Для типового отстойника шириной 6 м и длиной 45 м также необходима установка насоса производительностью 270 л/с напором 60–70 м. Для смыва осадка можно использовать сырую воду либо промывную воду скорых фильтров.

### 3.3.5 Реконструкция отстойников и осветлителей во флотаторы

Для маломутных цветных вод, а также при наличии фито- и зоопланктона возможна реконструкция отстойников во **флотаторы**. Флотация менее чувствительна к изменению качества воды, лучше удаляются микроорганизмы, в 2–3 раза сокращаются потери воды.

Площадь, занимаемая флотаторами при данном расходе, значительно меньше, чем площади, занимаемые другими сооружениями, так как у флотаторов наибольшая удельная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> площади зеркала воды.

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

При реконструкции отстойников и осветлителей применяется напорная флотация с коэффициентом рециркуляции 0,08–0,1. Вода во флотатор поступает из существующей камеры хлопьеобразования. В схемах с осветлителями необходимо дополнительно предусмотреть камеры хлопьеобразования.

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

В сатураторах размещается насадка из колец Рашига; сжатый воздух подводится от ресивера компрессорной станции (рисунок 3.21).

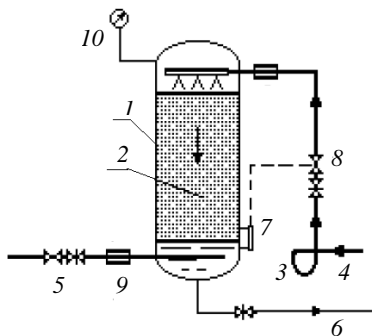


Рисунок 3.21 – Установка сатуратора [30]:

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

На рисунке 3.22 приведена принципиальная схема флотационной установки на базе реконструированного горизонтального отстойника.

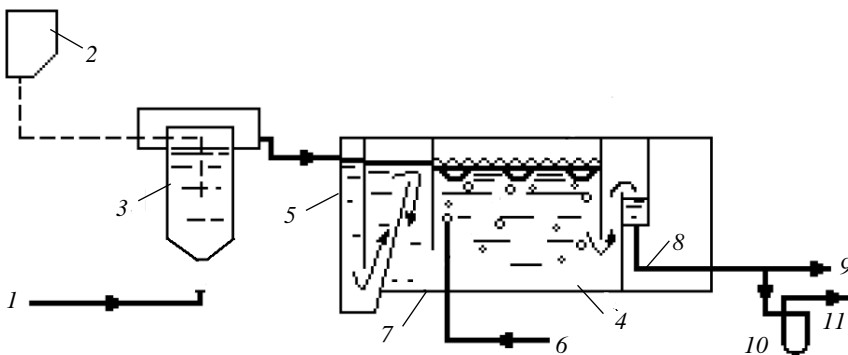


Рисунок 3.22 – Схема флотационной установки при реконструкции отстойника:

- 1 – подача сырой воды; 2 – растворный бак; 3 – смеситель; 4 – отстойник;
- 5 – вихревая камера хлопьеобразования; 6 – водовоздушный раствор из сатуратора;
- 7 – флотационная камера; 8 – очищенная вода; 9 – подача на фильтры; 10 – насосный агрегат;
- 11 – подача в сатуратор

На рисунке 3.23 приведена схема реконструкции осветлителя коридорного типа. Трапециевидная часть осветлителя засыпается и бетонируется. Остальной объем образует **две зоны: нижнюю**, оборудованную как камера хлопьеобразования, и **верхнюю**, используемую в качестве камеры флотации. Аналогично перестраиваются и осадкоуплотнители.

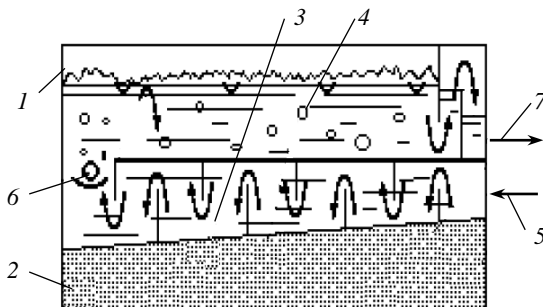


Рисунок 3.23 – Схема флотатора при реконструкции осветлителя коридорного типа [30]:

- 1 – корпус осветлителя; 2 – забетонированная трапециевидная часть осветлителя; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – флотационная камера; 5 – подача коагулированной воды; 6 – распределительная система водовоздушного раствора; 7 – трубопровод очищенной воды

При реконструкции отстойников и осветлителей во флотаторы принимается:

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

### 3.4 Интенсификация фильтрования

Фильтрование через зернистый слой повсеместно используется как завершающий способ при подготовке воды для коммунального, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения. На водоочистных станциях фильтры – наиболее дорогие и сложные сооружения.

Можно выделить следующие методы и средства интенсификации работы фильтровальных сооружений [30]:

- фильтрование в направлении убывающей крупности зерен;
- фильтрование с уменьшающейся по ходу потока скоростью;
- фильтрование с уменьшающейся во времени скоростью;
- использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью;
- совершенствование способов и режимов предварительной реагентной обработки воды;
- повышение эффективности процесса регенерации загрузки;
- совершенствование конструкций элементов фильтра.

### 3.4.1 Использование фильтрующих материалов с высокой пористостью и развитой поверхностью

Простыми способами интенсификации работы фильтрующего слоя является замена загрузки на эффективные фильтрующие материалы и устройство двухслойных загрузок. Эти способы не требуют реконструкции самих фильтров и достигаются лишь соответствующей подготовкой фракционного состава фильтрующей загрузки.

Загрузка фильтров *кварцевого песка* может быть заменена на *дробленые антрацит* и *керамзит*, а также другие материалы: горелые породы, оплавленный керамзитовый песок – отходы производства керамзитового гравия, аглопорит, вулканические шлаки, шунгизит, гранулированные металлургические шлаки, гранодиорит, цеолиты, габбро-диабаз и др.

Фильтрующие слои, сложенные из зернистых материалов с развитой поверхностью, имеют повышенную пористость и обеспечивают лучшие параметры фильтрования по сравнению с кварцевым песком. За счет их использования при одной и той же высоте фильтрующего слоя можно получить:

- более длительный фильтроцикл при одинаковой скорости фильтрования;
- увеличить скорость фильтрования при неизменной длительности фильтроцикла.

При замене загрузки следует проверять режим и эффективность промывки новых фильтрующих материалов. Все фильтрующие материалы должны обеспечивать технологический процесс и обладать требуемой *химической стойкостью* и *механической прочностью*. Гранулометрический состав загрузок и технологические параметры фильтрования должны быть подобраны таким образом, чтобы фильтр выводился на промывку не из-за ухудшения качества фильтрата, а по достижении предельных потерь напора.

Значительный интерес представляют **цеолиты**. Пористость цеолита и кварцевого песка составляет соответственно 0,52–0,62 и 0,38–0,4 г/см<sup>3</sup>, удельная поверхность соответственно 20–40 и 0,12 м<sup>2</sup>/г. В результате скорость фильтрования может быть увеличена с 5–7 м/ч до 7–9 м/ч, расход промывной воды уменьшается на 20 %. Гряземкость цеолитовой загрузки на 30–40 % больше, чем песчаной.

Помимо высоких фильтрационных свойств цеолит позволяет очищать воду от некоторых радиоактивных изотопов (Cs, Sr, Tl, Co и др.). Цеолит имеет наибольшую обменную емкость по отношению к некоторым распространенным катионам (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и др.), обладает селективностью по отношению к тяжелым металлам.

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 микросколичествах, обменная емкость цеолита по таким веществам оказывается вполне достаточной для длительной эксплуатации без регенерации или замены загрузки.

К отдельной группе относятся плавающие фильтрующие материалы – **вспененный гранулированный полистирол**. Гранулы полистирола обладают более высокими адгезионными и электрокинетическими свойствами, по сравнению с зёрнами песка, и их применение интенсифицирует процесс фильтрования в целом.

Замена тяжелых фильтрующих загрузок на плавающие существенно меняет технологию фильтрования воды, позволяет увеличить допустимую по сравнению с кварцевыми фильтрами концентрацию взвешенных веществ в исходной воде и скорость фильтрования, значительно упростить регенерацию загрузки, отказаться от установки промывных насосов и специальных емкостей для воды.

### **3.4.2 Фильтрование в направлении убывающей крупности зёрен**

Основное *преимущество* применения фильтрования в направлении убывающей крупности зёрен заключается в том, что загрязнения глубже проникают в слой, в результате чего увеличивается степень использования грязеемкости загрузки, уменьшается темп прироста потерь напора. Метод может реализовываться 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. В качестве верхнего слоя может быть использован керамзит. При обработке воды с преимущественным содержанием минеральных примесей в схемах с предварительным отстаиванием эффективными являются двухслойные фильтры. При очистке маломутных высокоцветных холодных вод возникают затруднения: вследствие «вялой» коагуляции, из отстойников на фильтры выносятся хлопья гидроксида алюминия или железа с малой адгезионной активностью.

Не всегда удачным является применение прямооточных фильтров, на которые вода поступает без предварительного отстаивания, так как при образовании хлопьев в надзагрузочном слое происходит неодинаковое во времени поступление воды на различные участки загрузки и преимущества двухслойных фильтров теряются. Адгезионная активность гидроксида алюминия (железа) в первые 30 мин быстро снижается. В результате различные участки площади фильтра кольматируются по-разному. Ликвидация гидродинамических неоднородностей за счет различных дополнительных сопротивлений может улучшить работу таких фильтров.

Главным препятствием в использовании фильтров являются трудности в подборе фильтрующих материалов с заданным гранулометрическим составом.

Эффективное применение многослойных загрузок затруднено необходимостью правильного выбора соотношения крупности зерен фильтрующих материалов, чтобы не происходило их смешение при проведении промывки слоев загрузки.

Наиболее удачно преимущества фильтрации в направлении убывающей крупности реализуются в контактных осветлителях с восходящим потоком воды и загрузкой большой неоднородности. За счет эффективного использования грязеемкости неоднородной загрузки эти сооружения работают при мутности обрабатываемой воды до 100–150 мг/л и цветности до 190 градусов.

Меньшее применение на практике получили двухпоточные фильтры АКХ, в которых очищаемая вода фильтруется одновременно сверху и снизу и отводится дренажом, расположенным в толще загрузки. Производительность фильтров АКХ в 1,5–2,0 раза выше, чем однослойных фильтров и контактных осветлителей.

*Недостатками* двухпоточных фильтров АКХ являются:

– несовершенство дренажа, расположенного в толще мелкозернистой загрузки;

– сложность конструкции и эксплуатации.

Применение в двухпоточных фильтрах двухслойной загрузки, пористых дренажей открывает новые возможности их высокоэффективного использования.

Фильтрация в направлении убывающей крупности зерен успешно реализуется также в двухступенчатых фильтрах – в фильтрах первой ступени крупность выше, чем во второй (рисунок 3.24). Такая схема используется 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) могут использоваться несколько независимых групп двухступенчатых фильтров, каждая из которых промывается при ухудшении качества фильтрата на второй ступени, фильтры работают со скоростью фильтрации 6–10 м/ч.

Применение двух ступеней контактных осветлителей (КО) с крупно- и мелкозернистой загрузками обеспечивает очистку высокомутных вод (до 1500 мг/л) без использования коагулянтов (рисунок 3.25). Скорости фильтрации на первой и второй ступенях принимаются соответственно 3 и 1,5 м/ч, продолжительность фильтроцикла – 72–96 ч.

Для очистки высокоцветных маломутных холодных вод (мутность не более 250–300 мг/л, цветность не более 150–200 град) разработана схема двухступенчатого фильтрации:

– *первая ступень* – контактные осветлители, эксплуатирующиеся за пределами времени защитного действия загрузки;

– *вторая ступень* – скорые фильтры с нисходящим потоком (рисунок 3.26).



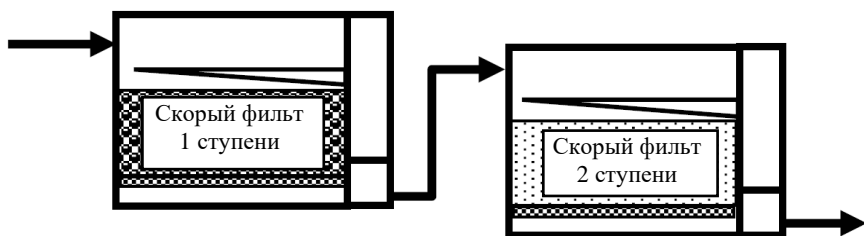


Рисунок 3.24 – Схема двухступенчатого фильтрования в скорых фильтрах

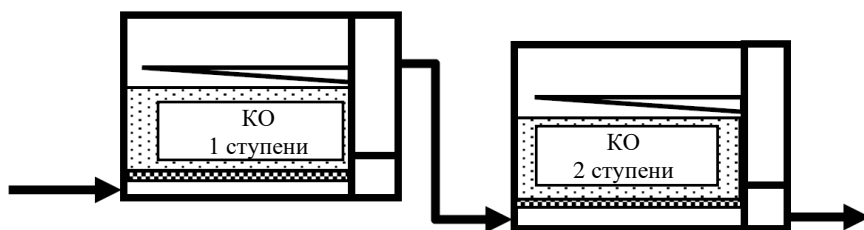


Рисунок 3.25 – Схема двухступенчатого фильтрования на контактных осветлителях

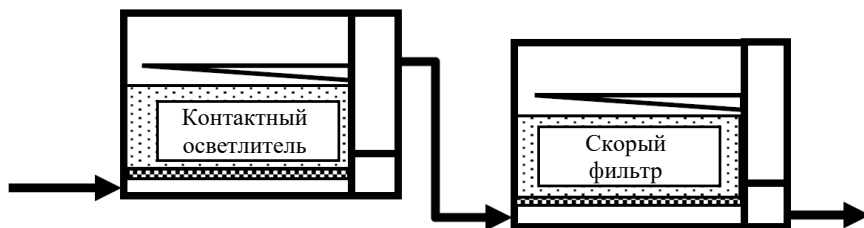


Рисунок 3.26 – Схема двухступенчатого фильтрования на контактных осветлителях и скорых фильтрах

Первые 15–30 см загрузки быстро прекращают очищать воду до требуемых кондиций, но они долго продолжают задерживать основную часть загрязнений. Большая грязеемкость фильтров первой ступени позволяет увеличить скорость фильтрования или удлинить фильтроцикл. Адгезионная активность хлопьев гидроксида алюминия (железа), поступающих из фильтров первой ступени, выше, чем из отстойников. Также 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 осуществляется с помощью перфорированных распределителей. Возможно применение

дробного или прерывистого режима коагулирования. При этом целесообразно предусмотреть ввод реагентов в нескольких точках технологической схемы.

Основные параметры применяемых *контактных осветлителей*:

- водовоздушная промывка;
- эквивалентный диаметр загрузки – 1,0–1,1 мм;
- коэффициент неоднородности – 2,0–2,2;
- относительная плотность – 2,6–2,65;
- высота слоя – 2,0–2,2 м.

Продолжительность фильтроцикла принимается 12 ч, скорость при нормальном режиме – 6,5 м/ч, при форсированном – 7,5 м/ч.

Скорость фильтрации для скорых фильтров второй ступени принимается на 15–20 % больше рекомендуемой.

### 3.4.3 Фильтрация с уменьшающейся по ходу потока скоростью

При применении фильтрации с уменьшающейся по ходу потока скоростью 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 рисунке 3.27 приведена установка осветления воды, в которой совмещены вертикальный отстойник и фильтр с уменьшающейся по ходу потока скоростью.

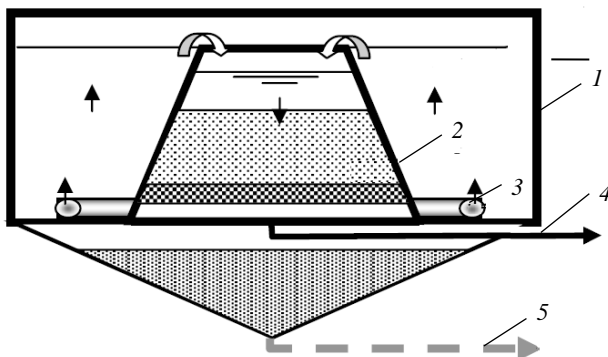


Рисунок 3.27 – Комбинированный вертикальный отстойник-фильтр [30]:

- 1 – вертикальный отстойник; 2 – фильтр; 3 – подача воды на обработку;
- 4 – трубопровод отвода чистой воды; 5 – трубопровод отвода осадка

### 3.4.4 Фильтрация с уменьшающейся во времени скоростью

Скорые фильтры традиционно эксплуатируются в режиме постоянной скорости фильтрации с использованием различных систем регулирования расхода воды. *Недостатки* данного 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 подача исходной воды осуществляется из общего трубопровода, расположенного ниже рабочего уровня воды в фильтрах, что делает их гидравлически взаимосвязанными, и в результате более чистые фильтры получают большую нагрузку.

При *постоянной скорости фильтрации* истинная скорость в пороговом пространстве со временем возрастает из-за сужения сечения каналов задержанными загрязнениями. Поэтому вероятность срыва уже задержанных загрязнений выше, чем в режиме переменной во времени скорости, где одновременно с ростом объема загрязнений снижается скорость.

При *переменной скорости* по мере заиливания загрузки истинная скорость движения воды в порах также растет. Однако при постоянной производительности темп увеличения истинной скорости будет выше, чем при снижающейся. В этом случае можно ожидать улучшения качества фильтрата. Но слишком высокие начальные скорости фильтрации способствуют прорыву загрязнений в фильтрат.

При постоянной и переменной скорости фильтрации качество фильтрата практически не отличается, но продолжительность фильтроцикла при переменной скорости больше [30].

Для эффективной эксплуатации фильтров с переменной скоростью необходимо оптимизировать начальную и конечную скорости фильтрации. Начальная (максимальная) скорость устанавливается экспериментально с учетом качества фильтрата и заданной производительности сооружений.

Отключение фильтра на промывку при переменной скорости возможно при достижении:

- максимально допустимого уровня воды в фильтре или входном канале;
- 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 эксплуатируются с переменной скоростью.

*Преимущества* фильтрования с уменьшающейся во времени скоростью:

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

Приведенные 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 % [30].

К *недостаткам* работы фильтров с уменьшающейся скоростью можно отнести:

- опасность проскока загрязнений в начале фильтроцикла при максимальной скорости фильтрации;
- на малых станциях может потребоваться увеличение запасных емкостей из-за колебаний расхода.

### 3.4.5 Предварительная реагентная обработка воды

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 доза назначается с учетом гранулометрического состава загрузки, 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 гидроксида 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.

*Регулирование pH* производят для оптимизации условий коагулирования.

*Режим регулирования* (подщелачивание или подкисление, вид реагента, порядок его введения) определяется пробным коагулированием и зависит от качества обрабатываемой воды, температуры, состава загрязнений.

**Оптимизация способов введения коагулянта** – одно из наиболее действенных средств интенсификации работы фильтров.

При применении *прерывистого коагулирования*, когда продолжительность периодов коагулирования и перерывов в подаче соотносится от 3:1 до 0,3:1, более полно используется адгезионная емкость продуктов гидролиза

коагулянтов при их избытке, потребность в коагулянтах снижается в 1,3–2 раза, увеличивается длительность фильтроцикла.

*Дробное коагулирование* является эффективным при очистке высокоцветных вод (до 200 °С) на проточных фильтрах. Введение 65–75 % общей дозы коагулянта в смеситель и 25–35 % непосредственно перед загрузкой позволяет увеличить фильтроцикл в 1,5–2,5 раза.

### 3.4.6 Повышение эффективности регенерации загрузки

Плохая регенерация загрузки фильтров может свести на нет преимущества самых эффективных фильтрующих материалов и реагентов.

Наиболее простым и в конструктивном исполнении и самым распространенным способом промывки фильтрующих сооружений является **водная промывка**. Но она имеет ряд *недостатков*:

- не всегда обеспечивается необходимая эффективность отмывки фильтрующего слоя;

- происходит гидравлическая сортировка загрузки, из-за чего наиболее мелкие зерна оказываются в первых по ходу фильтрационного потока слоях, что приводит к быстрой их коагуляции, неполному использованию гряземкости фильтра, сокращению продолжительности фильтроциклов и снижению производительности сооружений;

- требует больших удельных расходов воды (до 6–7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>), что, в свою очередь, требует использования мощных насосов и больших емкостей для накопления запаса воды на промывку;

- требуются большие сооружения для обработки промывных вод при их повторном использовании.

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.

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

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

Существуют раздельная и совместная водовоздушные промывки. При раздельной промывке в загрузку подают вначале только воздух, а затем воду, при совместной – воздух и воду подают одновременно.

Наиболее часто применяется совместный режим водовоздушной промывки, который осуществляется в три этапа.

На *первом этапе* длительностью 1–2 мин подается только воздух интенсивностью 15–20 л/(с·м<sup>2</sup>).

На *втором этапе* осуществляется совместная водовоздушная продувка, когда в дополнение к воздуху подается промывная вода интенсивностью 2,5–4 л/(с·м<sup>2</sup>). Продолжительность этого этапа составляет 4–5 мин для скорых фильтров и 6–7 мин для контактных осветлителей. За счет совместного действия воды и воздуха на втором этапе промывки происходит полное разрушение структуры задержанных загрязнений поровым каналом. Они перемещаются вверх, выходя на поверхность загрузки, при этом из загрузки удаляется основная масса загрязнений. Интенсивность подачи на основном (втором) этапе подбирается таким образом, чтобы загрузка не расширялась. Благодаря этому не происходит смещения и перемешивания слоев загрузки и обеспечивается заданное первоначальной укладке загрузки распределение ее крупности по высоте слоя.

На *третьем этапе* подача воздуха прекращается и в течение 5–6 мин осуществляется подача только воды интенсивностью 6–7 л/(с·м<sup>2</sup>), т. е. больше, чем на втором этапе, для удаления оставшихся в загрузке защемленных загрязнений, задержанного воздуха, разрыхления фильтрующего слоя.

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

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

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

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

**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 малорасширенный 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 использоваться дисковый поворотный дроссель.

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** заключается в переменной по площади фильтра интенсивности подачи промывной воды, причем зоны повышенного и пониженного расходов чередуются.

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.

При чередующейся промывке уменьшается гидравлическая сортировка загрузки, увеличивается грязеемкость, удлиняется фильтроцикл, сокращается расход промывной воды, достигается высокая эффективность отмывки.

К *недостаткам* способа следует отнести возможность применения его только на фильтрах с однослойной загрузкой и безгравийным дренажом.

В производственных условиях для организации чередующейся промывки необходимо произвести реконструкцию дренажа:

- при трубчатом щелевом дренаже монтируются дрены с большими и меньшими площадями щелей;
- при пористом дренаже на выходе в дренажные каналы устанавливаются патрубки большого и малого сопротивления;
- в колпачковом дренаже изменяется их количество на единицу площади.

Промывка загрузки производится интенсивностью 14–15 л/(с·м<sup>2</sup>), а последние 2–3 мин – с интенсивностью 10–13 л/(с·м<sup>2</sup>).

### 3.4.7 Совершенствование конструкций фильтра

Совершенствование конструкций фильтров направлено главным образом на применение новых безгравийных дренажных систем и способов отвода промывной воды.

**Дренажно-распределительные системы.** Наиболее распространенная дренажная система – *трубчатая с поддерживающимися слоями гравия* имеет следующие *недостатки*: невысокую надежность; большую металлоемкость; трудоемкость монтажа и эксплуатации.

Сравнительная характеристика существующих дренажных систем приведена в таблице 3.1.

В настоящее время все более широкое распространение получают безгравийные пористые дренажи. Существуют конструкции *трубчатых дренажей* фирм «Экополимер», «Экотон» из пластмассовых перфорированных труб, покрытых пористым материалом из синтетических волокон или стекловолокна (рисунок 3.28).

Также разработаны конструкции *пористых дренажей из пористого полимербетона*, которые могут быть использованы как при строительстве новых, так и при реконструкции действующих фильтров. Они могут применяться при водяной и водовоздушной промывке.

Полимербетонные дренажи в сравнении с трубчатыми дренажами с поддерживающимися слоями гравия имеют следующие *преимущества*:

- отпадает необходимость применения гравийных слоев;
- уменьшается трудоемкость строительно-монтажных работ;
- сокращается металлоемкость;
- повышается надежность работы фильтров;
- загрузка фильтров может быть полностью механизирована;
- увеличивается высота фильтрующей загрузки без увеличения высоты фильтра.



Таблица 3.1 – Сравнительная характеристика дренажных систем

Материал	Преимущества	Недостатки
<i>Колпачковый (колпачки на трубах, поддоне, блоках)</i>		
Полистирол, капрон, нержавеющая сталь	Простота монтажа, низкая металлоемкость (кроме металлических колпачков)	Большое число колпачков, заклинивание щелей зернами загрузки
<i>Перфорированные трубы с пористым покрытием из напыленного полиэтилена</i>		
Полиэтилен высокого и низкого давления	Простота монтажа	Возможность кольматации взвесью, влияние транзитного потока на распределение воды
<i>Стеклопластиковые трубчатые (перфорированная труба с двумя каркасами, между ними – фильтровальная сетка)</i>		
Реактопласты	Простота монтажа, малый вес, низкий коэффициент температурного расширения	Влияние транзитного потока на распределение вод
<i>Пористый полимербетон (лотки, перекрытые пористыми плитами, дырчатые железобетонные плиты, покрытые пористым полимербетоном)</i>		
Гранитный щебень (гравий) с эпоксидным связующим, полистирол	Низкий коэффициент температурного расширения, большие поры, снижающие вероятность кольматации, малые потери напора, высокая степень равномерности промывки	Трудоемкость монтажа

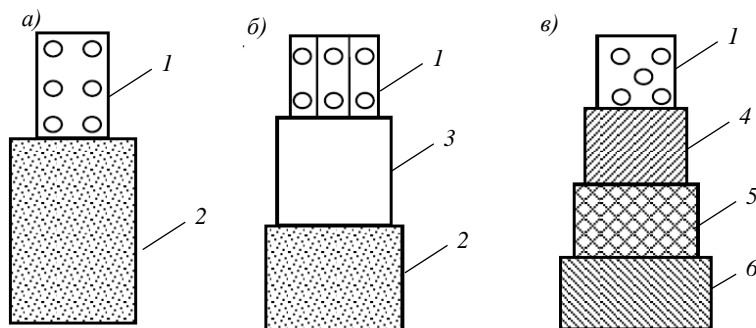


Рисунок 3.28 – Схемы трубчатых безгравийных дренажей:

*а* – «Эжотон»; *б* – «Экополимер»; *в* – «Полисток»;

*1* – перфорированная труба; *2* – слой наполненного полиэтилена; *3* – оплетка из синтетического материала; *4, 6* – внутренний и внешний стеклопластиковые каркасы; *5* – фильтрующая сетка

Разработано несколько конструкций дренажей из пористого полимербетона: лоткового типа, дырчатый, «сэндвич» (рисунок 3.29).

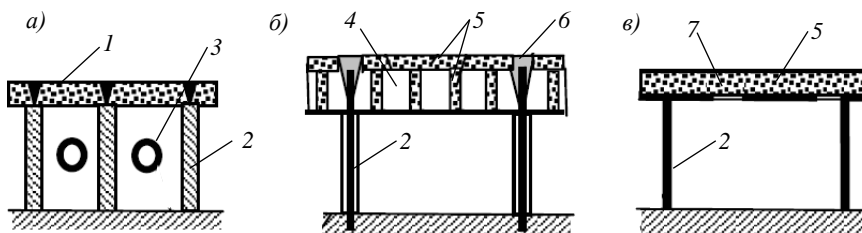


Рисунок 3.29 – Схемы полимербетонных дренажей:

*а* – лотковый; *б* – дырчатый; *в* – «сэндвич»;

*1* – полимербетонные плиты; *2* – опора; *3* – патрубки большого сопротивления; *4* – железобетонная дырчатая плита; *5* – полимербетон; *6* – стык; *7* – металлический дырчатый лист

К распределительным (дренажным) системам скорых фильтров предъявляются следующие требования:

- равномерность распределения промывной воды по площади фильтра;
- равномерность сбора фильтрованной воды с площади фильтра;
- достаточная механическая прочность, выдерживающая массу воды и массу фильтрационной загрузки, а также давление воды при промывке фильтра;
- незасоряемость отверстий и щелей во время рабочего цикла и при промывке.

*Полимербетонный дренаж лоткового типа* состоит из бетонных опорных стенок, перекрытых сверху пористыми плитами, на которых располагается фильтрующая загрузка любого вида (см. рисунок 3.29, *а*).

*Дырчатый дренаж* изготавливается из железобетонных плит, отверстия которых заполнены пористым полимербетоном (см. рисунок 3.29, *б*). Диаметры отверстий и их шаг определяются гидравлическим расчетом из условия взвешивания загрузки, отсутствия «мертвых» зон между отверстием и заданной степени равномерности поля скорости промывной воды. Сверху плиты покрыты тонким слоем полимербетона, что улучшает равномерность промывки и сбора фильтрата. Этот дренаж в 1,5–2,5 раза уменьшает расход эпоксидной смолы, поскольку функцию несущей конструкции выполняет железобетонная плита. Уменьшается число плит и опор, что повышает индустриальность монтажа. Однако в данном случае необходимо обеспечить надежное крепление плит ко дну фильтра, рассчитанное на нагрузку при промывке фильтров.

Дренаж лоткового типа и дырчатый дренаж применяются, как правило, при реконструкции открытых скорых фильтров.

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

Конструкция «сэндвич» (см. рисунок 3.29, в) отличается тем, что в листе высверливаются отверстия, размеры которых обеспечивают необходимое гидравлическое сопротивление. Слой пористого полимербетона, укладываемый сверху, выполняет в основном функцию экрана, не допускающего проникновения мелких частиц загрузки в поддон.

В качестве эффективной системы дренажа при реконструкции фильтров может быть использована система *TRITON*, которая функционирует под действием силы тяжести и удерживает гранулированный фильтрующий материал на месте, а также оптимизирует сбор фильтрата и распределение воздуха и воды в режиме обратной промывки (рисунок 3.30).



Рисунок 3.30 – Схема дренажной системы *TRITON*

Система нижнего дренажа *TRITON* изготавливается из фильтрующего материала из клиновых элементов, установленных с увеличением зазоров между ними в нижнем направлении.

Волнообразные клиновые элементы *TRITON* собирают профильтрованную воду и сбрасывают её в общий лоток, из которого вода отводится из фильтра. В режиме обратной промывки поток попадает в лоток и направляется в нижний дренаж. Поддерживающих слоёв не требуется.

Стандартными приняты зазоры 0,3 мм, возможно производство системы дренажа с другими размерами зазоров. Высота дренажа составляет 128 мм, ширина элементов – 260 мм. Для размещения требуется не менее 6 м длины дна фильтра.

При промывке обеспечивается удельный расход (на 1 м<sup>3</sup> фильтрационной загрузки) – от 37 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. При рабочем режиме фильтрации – от 12,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. В зависимости от размеров зерен и типа загрузки удельный расход составляет от 5 до 25 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

Система нижнего дренажа *TRITON* может быть изготовлена из нержавеющей стали марки 304 / 304 L; 316 L или полимерных материалов (ПВХ).

**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 и системы пористого отвода в виде наклонной стенки или пористых труб.

На рисунке 3.31 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 кольматации зернами загрузки. Отбойная стенка 2 устраивается при водовоздушной промывке для отклонения пузырьков воздуха.

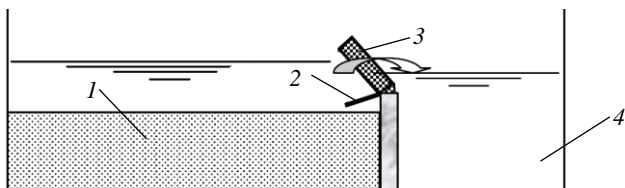


Рисунок 3.31 – Отвод промывной воды пористой стенкой [30]:  
1 – загрузка; 2 – отбойная стенка; 3 – пористая стенка; 4 – карман фильтра

При большой площади фильтра пористая система отвода выполняется в виде *желобов* или *труб* (рисунок 3.32). Пористые трубы монтируются вместо желобов над загрузкой. Использование этих труб позволяет расширить область применения водовоздушной промывки. Ее можно использовать и для легких фильтрующих материалов (керамзит, антрацит и т. п.), поскольку их вынос практически исключен.

Предлагаемые конструкции (см. рисунок 3.32) позволяют устранить грязевые скопления на поверхности и повысить полезную производительность на 8–10 %.

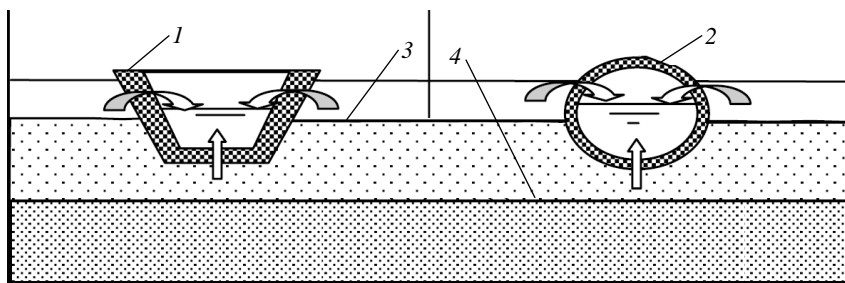


Рисунок 3.32 – Системы пористого отвода промывной воды [30]:  
1 – пористый желоб; 2 – пористая труба; 3 – уровень загрузки при промывке; 4 – уровень загрузки при фильтровании

### 3.5 Интенсификация обеззараживания

При водоподготовке поверхностных вод обеззараживание производится дважды: на начальной стадии – для улучшения санитарного состояния сооружений и перед подачей воды в систему. Применительно к подземным водам при их хорошем санитарном состоянии обеззараживание проводится обычно в конце водоподготовки или не проводится вовсе.

Для человека являются опасными водные патогенные организмы:

- вирусы;
- бактерии;
- простейшие (амебы, лямблии и т. п.).

Для эффективной инактивации бактерий и вирусов при любом методе обеззараживания необходимо предварительное глубокое обесцвечивание воды до цветности не более 10 град., осветление до 1 мг/л и отсутствие взвешенных частиц с крупностью более 5 мкм.

Интенсификация и повышение безопасности систем обеззараживания воды в последнее время осуществляется вместо традиционного хлорирования компонентами более широкого применения:

- соединений хлора – гипохлорита натрия или кальция;
- хлорирование с аммонизацией;
- озонирование воды;
- ультрафиолетовое облучение и его комбинация с озонированием или ультразвуком.

#### 3.5.1 Обеззараживание гипохлоритом натрия или кальция

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

Технология обеззараживания гипохлоритом натрия (рисунок 3.33) позволяет:

- улучшить экологическую ситуацию населенного пункта ввиду исключения запасов хлора в нем;
- повысить экологическую и гигиеническую безопасность производства;
- повысить стабильность и качество воды;

Гипохлориты получают электролизом растворов солей (хлорида натрия или кальция) – направленного движения ионов при погружении в раствор положительно и отрицательно заряженных электродов. На аноде происходит разряд ионов хлора, на катоде выделяется водород и образуется щелочь, диффундирующая к аноду и образующая с хлором гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$ .

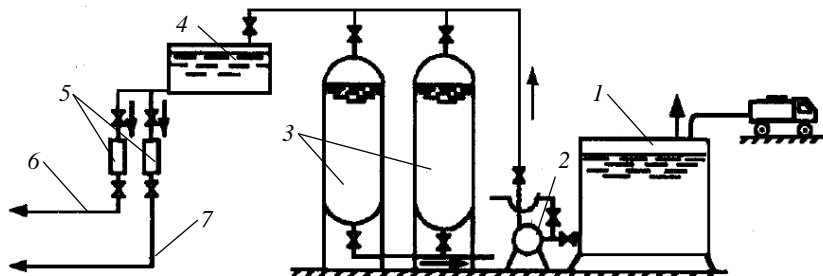


Рисунок 3.33 – Технологическая схема применения гипохлорита натрия:  
 1 – приемная емкость; 2 – насос; 3 – баки хранилища; 4 – расходный бак; 5 – дозаторы;  
 6, 7 – подача гипохлорита натрия на первичное и вторичное хлорирование

Электролизные установки непроточного типа ЭН-1–ЭН-100, производительностью от 1 до 100 кг активного хлора в сутки 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*, *Pepcon* и др. Расходы соли и электроэнергии здесь меньшие: на 1 кг активного хлора тратится 3,0–3,5 кг соли и 5,5–6,8 кВт·ч электроэнергии.

Известны электролизные установки для обеззараживания воды типа «Аквахлор», в которых электролизер дополнительно оборудуется мембраной и вырабатывается смесь оксидантов (диоксид хлора, озон и др.). Эти установки отличаются малым удельным расходом электроэнергии на синтез хлора (не более 2,0 кВт·ч/кг) и малым удельным расходом соли – не более 1,8 кг на 1 кг хлора.

### 3.5.2 Ультрафиолетовое облучение

Обеззараживание УФ облучением является оптимальным методом для обеззараживания подземных вод высокого качества. При обработке поверхностных вод может применяться не только для вторичного, но и для первичного обеззараживания. Вторичное УФ обеззараживание может применяться совместно с хлором для решения проблемы вирусов при сохранении последнего в сетях. Для обеспечения последствие в воду, обработанную УФ, могут добавляться не хлор, а хлорамины.

Технологии УФ обеззараживания различают по типу ламп (отличающихся давлением паров ртути, формирующих УФ лучи при подаче напряжения), а также по типам дополнительного физического воздействия.

Ключевым компонентом УФ установок являются лампы. Сравнительная характеристика ламп низкого и среднего давления приведена в таблице 3.2., основные показатели приведены в таблице 3.3

Таблица 3.2 – Сравнительная характеристика УФ ламп [16]

Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
<i>Лампы низкого давления (ЛНД)</i>		
Монохромные (одноцветные), вырабатывают только один тип волны УФ излучения (254 нм)	Производят 33–40 % УФ-С излучения от всего спектра, что не сравнится с результатами ЛСД (максимум 7–13 %)	Низкая единичная мощность ламп (максимум до 1,5 кВт на лампу). Это увеличивает габариты установок и их стоимость
<i>Лампы среднего давления (ЛСД)</i>		
Вырабатывают УФ в широком спектре излучения	Имеют высокую удельную мощность (до 15–20 кВт на одну лампу), что позволяет проектировать компактные установки для УФ обработки. На 30–50 % выше эффективность преобразования энергии в УФ облучение	Создают в 10 раз больше теплоты (870 °С), чем ЛНД (максимум 82 °С). Для того чтобы ЛСД прослужила максимальное время, ее рабочая температура должна находиться под постоянным наблюдением и контролем. Высокая температура интенсифицирует осаждение карбонатов на поверхности. Большая часть УФ излучения производится за пределами спектра бактерицидного обеззараживания. Это, в частности, приводит к эффекту фотолиза органических загрязнений и образованию его продуктов. Срок службы ниже, чем у ламп низкого давления

Таблица 3.3 – Показатели ультрафиолетовых излучателей низкого и среднего давления

Показатели	Излучатели низкого давления	Излучатели среднего давления
Давление паров ртути, МПа	0,0001	0,1–1,0
Температура поверхности, °С	40–120	600–950
Излучение в УФ-диапазоне	Монохромные	Диапазон
Длина волны, нм	254	200–400
Потребление энергии, Вт	10–00	1000–30000
Удельное энергопотребление на единицу длины излучателя, Вт/см	1–4	100–200
Мощность УФ излучения в диапазоне С (254 нм) относительно энергопотребления новых излучателей, %	25–35	8–15
Снижение мощности в течение срока службы, %	30–40	25–40
Средний срок службы, ч	8000–16000	4000–12000

УФ облучение может применяться не только для обеззараживания, но и для совместного проведения двух процессов: окисления токсичных микрорганизмов и обеззараживания.

Для целей обеззараживания УФ может применяться:

- как самостоятельный метод;
- вместе с ультразвуковой (УЗ) обработкой в едином аппарате.

Совместное применение УФ и УЗ излучения обладает следующими *преимуществами*:

- кавитационный эффект обеззараживания, приводящий к резкому локальному увеличению давления и температуры в зоне включений в воде, способствует гибели спор грибков и бактерий;

- не требуется механическая очистка и химическая промывка, что важно при обеззараживании вод с малой прозрачностью и большим количеством взвешенных веществ.

Ультразвуковой излучатель, помещенный внутри камеры ультрафиолетовой обработки, тщательно отмывает поверхности корпуса и защитного кварцевого кожуха ультрафиолетового излучателя, что предотвращает их биообрастание.

### 3.5.3 Озонирование

Обеззараживание озоном происходит в результате окисления им доступных органических веществ, в том числе мембран патогенных организмов, приводящее к их гибели.

Обеззараживание озоном достигается при соблюдении следующих параметров:

- доза – около 5 мг/л;
- время контакта – 5–10 мин;
- концентрация остаточного озона 0,3–0,4 мг/л.

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.

Озонирование обладает существенными *недостатками*:

- озон, как и хлор, способствует образованию вторичных продуктов: альдегидов, кетонов, карбоксидных смол, обладающих токсичным действием;

- споровые формы бактерий устойчивы к озонированию;



- отмечается активная коррозия труб;
- озон быстро разлагается и не обладает последействием, поэтому в воду после озонирования приходится вводить небольшие дозы хлора.
- высокая стоимость и сложность оборудования;
- высокие требования к технике безопасности;
- существенные затраты электроэнергии.

Ввиду описанных свойств озонирование крайне редко используется только для обеззараживания. Как правило, его применение направлено на снижение цветности, удаление запахов и привкусов.

## 4 РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

### 4.1 Обследование и оценка эффективности работы насосных станций, водопроводных сетей и регулирующих емкостей

Система подачи и распределения воды (СПРВ) состоит из насосных станций, водоводов, магистральных и распределительных сетей, работающих совместно.

Обследование и анализ работы СПРВ проводится в соответствии со следующей методикой.

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.

Гидравлические и технико-экономические расчёты работы насосных станций, водоводов и водопроводных сетей, а также определение регулирующего объёма резервуаров необходимо производить с учётом совместной работы всего комплекса гидравлически взаимодействующих сооружений.

#### 4.1.1 Насосные станции

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

- марки насосов;
- диаметр колес;
- число оборотов;
- марки электродвигателей и их параметры;
- фактические характеристики насосов: напор-подача  $H = f(q)$ ; мощность-подача  $N = f(q)$ ; допустимый вакуум-подача  $H_{\text{вак}} = f(q)$ ; КПД - подача  $\eta = f(q)$ .

Фактическая характеристика насосов может заметно отличаться от заводской. Поэтому фактические характеристики насосов должны определяться не реже 1 раза в 2 года.

Перед снятием характеристик измеряются диаметры трубопроводов, проверяется вертикальность положения приборов для измерения давления и рассчитываются постоянные измерительных приборов. Все приборы (вакуумметры, манометры, расходомеры, ваттметры или амперметры и вольтметры) должны быть предварительно поверены. При измерениях необходимо

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

При измерениях подачу насосов (центробежных) изменяют от 0 до  $Q_{\max}$  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 измерений для оценки эффективности работы насоса приведена на рисунке 4.1.

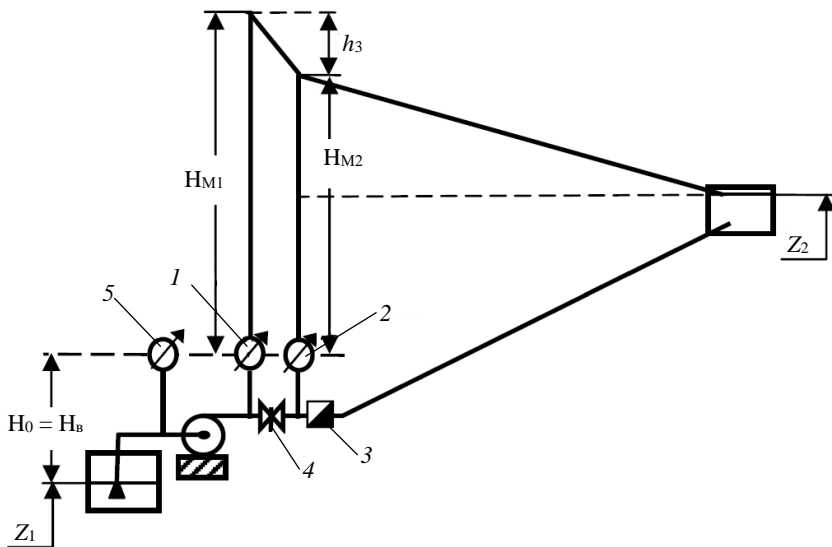


Рисунок 4.1 – Схема испытания насоса [30]:

1 – манометр 1; 2 – манометр 2; 3 – расходомер; 4 – регулировочная задвижка; 5 – вакуумметр

Испытания проводятся в следующей последовательности.

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

$$h_T = Z_2 - Z_1 = H_{M2} + H_0 = H_{M2} + H_{в}. \quad (4.1)$$

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

3 Напор насосов, м,

$$H = H_{\text{ман}} + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g}, \quad (4.2)$$

где  $H_{\text{ман}}$  – манометрический напор, м;

$v_{\text{н}}$ ,  $v_{\text{в}}$  – скорости в напорном и всасывающем патрубках насосов, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>).

Манометрический напор, м,

$$H_{\text{ман}} = H_{\text{М2}} - H_{\text{М1}} + Z_{\text{н}} - Z_{\text{в}}, \quad (4.3)$$

где  $Z_{\text{н}}$ ,  $Z_{\text{в}}$  – отметки осей манометров на напорном и всасывающем трубопроводах, м.

При отсутствии манометра (вакуумметра) на всасывающей линии насоса допускается определять напор по уровню воды в резервуаре (рисунок 4.2). В этом случае формула (4.3) принимает вид

$$H_{\text{ман}} = H_{\text{М1}} + Z_{\text{н}} - Z_{\text{р}} + h_{\text{вс}}, \quad (4.4)$$

где  $Z_{\text{р}}$  – 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,

$$h_{\text{вс}} = \sum \xi \frac{v^2}{2g} + 1000iL = k_m 1000iL, \quad (4.5)$$

$1000i$  – гидравлический уклон, м/км, который можно определить по таблицам Ф. А. Шевелева [41] в зависимости от диаметра трубы, ее материала и расхода;

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

$k_m$  – коэффициент, учитывающий местные сопротивления.

При одинаковых диаметрах напорного и всасывающего патрубков ( $v_{\text{н}} = v_{\text{в}}$ ) напор насоса равен манометрическому напору, определяемому по формуле (4.3).

В результате получаются зависимости напора насосов, потери напора в задвижке и характеристики водоводов от подачи:

$$H = f(q),$$

$$h_3 = f(q) = H_{\text{М1}} - H_{\text{М2}},$$

$$h_{\text{в}}(q) = H(q) - h_3.$$

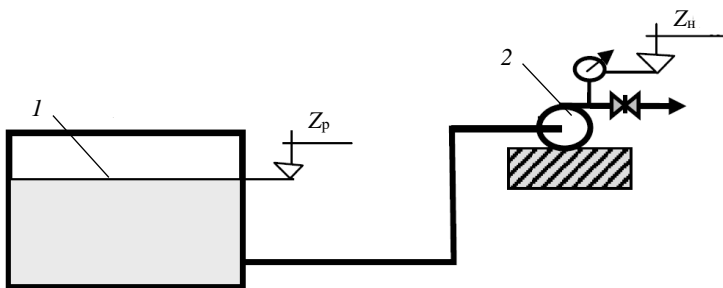


Рисунок 4.2 – Схема испытания насоса [30]:  
1 – резервуар; 2 – насос

4 По результатам замеров строится характеристика насоса  $H = f(q)$  (рисунок 4.3).

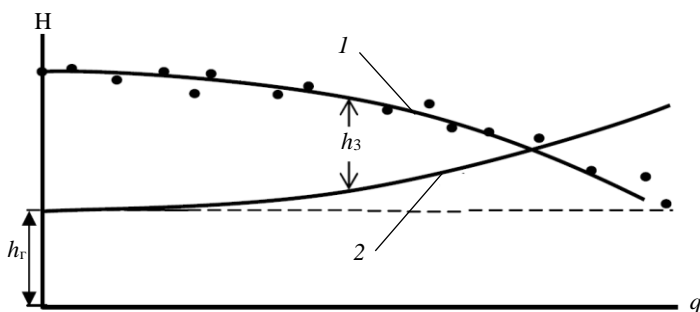


Рисунок 4.3 – Построение совместной характеристики насоса и водоводов [30]:  
1 – характеристика насоса; 2 – характеристика водоводов

Обработка результатов замеров может быть выполнена с помощью программы *Microsoft Excel*. При этом для аппроксимации результатов замеров целесообразно использовать полином второй или третьей степени. Для оценки степени достоверности аппроксимации определяется коэффициент корреляции.

Основные затруднения при получении расходно-напорной характеристики насосов связаны с определением подачи каждого насоса. Так как расходомеры на каждом насосе устанавливаются редко, то приходится пользоваться общими расходомерами на выходе из насосной станции. В этом случае приходится работать поочередно каждым насосом.

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 контролировать, чтобы весь расход испытываемого

насоса проходил через расходомер, и не было утечек воды через неплотно прикрытые задвижки. Еще хуже ситуация, 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. В этом случае также приходится контролировать плотность закрытия задвижек.

Замер подачи насосов может быть произведен с помощью *переносных ультразвуковых расходомеров (УЗР)* с накладными датчиками. 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 меньше, 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 составлять не менее 30 с. Если счетчиков нет, то определение мощности, кВт, можно произвести с помощью амперметра и вольтметра по формуле

$$N = \sqrt{3}UI\eta_d \cos \varphi / 1000 , \quad (4.6)$$

где  $U$  – напряжение фазы, В;

$I$  – ток фазы, А;

$\eta_d$  – КПД двигателя;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

$\cos \varphi$  и  $\eta_d$  принимаются по данным длительной эксплуатации. Обработка результатов замеров производится аналогично обработке расходно-напорной характеристики.

6 Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = qH / 102N , \quad (4.7)$$

где  $q$  – подача, л/с;

$H$  – напор насоса, м.

Вычислив  $\eta$  для каждой точки, строится график зависимости  $\eta = f(q)$  и обрабатывается аналогично расходно-напорной характеристике.

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

8 В процессе обследования собирается информация, необходимая 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 насосов.

Приведенная на рисунке 4.1 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  $h_3$ , измеренные при разных расходах. Для контроля правильности замеров используется величина геометрического подъема воды  $h_r$ , кривая водоводов  $H = f(q)$  при  $q = 0$  должна стремиться к  $h_r$ . Потери напора в коммуникациях насосной станции в данном случае включены в потери в водоводах.

Выполненные замеры и их 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. К основным причинам неисправности насоса можно отнести износ рабочих колес и 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 значительно больше требуемой, то целесообразно произвести замену 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.

Приведенная методика дает возможность получить характеристику системы водоводов, сети или водоводов и сети 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 открытию задвижек за ограниченное время. При этом должна быть гарантия полного закрытия задвижек. Поэтому характеристики отдельных водоводов определяются поочередно по участкам по методике, приведенной в п. 4.1.2.

### 4.1.2 Водоводы и сети

Обследование трубопроводных систем подачи и распределения воды проводится в **два этапа**:

1 *Сбор и систематизация информации о системах подачи и распределения воды:*

– планы местности с горизонталями с трассами водоводов, камерами переключений, колодцами с указанием основного оборудования, мест подключения попутных потребителей, данные о трубах (год строительства участка, материал, диаметр, изоляция, состояние труб);

– планы городской застройки с горизонталями, с указанием насосных станций, водонапорных башен, резервуаров, трасс магистралей, колодцев, а также зданий. Нужна также информация о трубах, аналогичная водоводам.

Для систематизации этой информации перспективно использование программ, основанных на применении геоинформационных систем (ГИС). 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 производится при необходимости на отдельных участках. Вопрос о выборе таких участков решается на последующих этапах обследования.

Схема испытаний для определения гидравлического сопротивления водовода приведена на рисунке 4.4.

На границах участков устанавливаются манометры, одновременно измеряется расход в водоводе (с помощью расходомера на насосной станции) и показания манометров  $M_1$  и  $M_2$ .

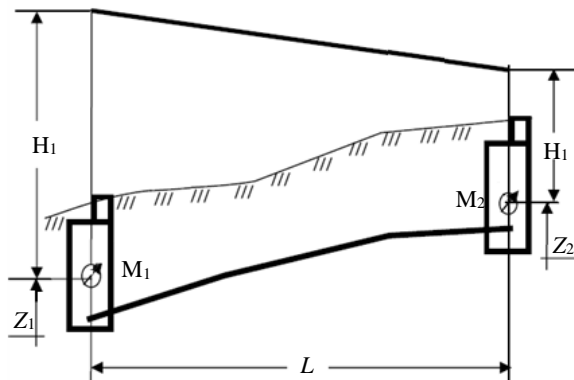


Рисунок 4.4 – Схема определения сопротивления водовода [30]



Зная геодезические отметки установки осей манометров (необходима надежная геодезическая подоснова), определяются пьезометрические отметки и потери в водоводе, м:

$$h = (Z_1 + H_1) - (Z_2 + H_2). \quad (4.8)$$

Сопротивление водовода и удельное сопротивление

$$S = h / q_2; \quad (4.9)$$

$$A_m = S / L. \quad (4.10)$$

При известном внутреннем диаметре трубы еще рассчитывается коэффициент Дарси

$$\lambda = \frac{2ghd^5 (\pi/4)^2}{Lq^2}. \quad (4.11)$$

В найденные потери напора  $h$  и вычисленные по ним  $S$ ,  $A_m$  и  $\lambda$  входят и местные сопротивления.

Определения производятся несколько раз при разных значениях расходов воды. Наилучшие по точности результаты получаются 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 п. 4.1.1.

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. Для этого применяются **два способа измерения расхода** – с регистрируемым сбросом воды и «трех манометров».

При *регистрируемом сбросе воды* (рисунок 4.5) на исследуемом участке отключаются попутные потребители и за сбросом закрывается задвижка, т. е. прекращается транзитный расход. Расход воды регистрируется либо водомером, либо объемным способом с использованием водяной цистерны (при диаметре участка до 400 мм).

По показаниям манометров определяются пьезометрические отметки и затем потери напора на участке, м, по формулам

$$Z_{п} = Z + M; \quad (4.12)$$

$$h_w = Z_{п1} - Z_{п2}. \quad (4.13)$$

Фактическое удельное сопротивление трубопровода

$$A_{\phi} = \frac{h_w}{Lq^2}. \quad (4.14)$$

Затем определяется коэффициент увеличения сопротивления

$$K_c = A_{\phi} - A_m, \quad (4.15)$$

где  $A_m$  – принимается по справочным данным [41].

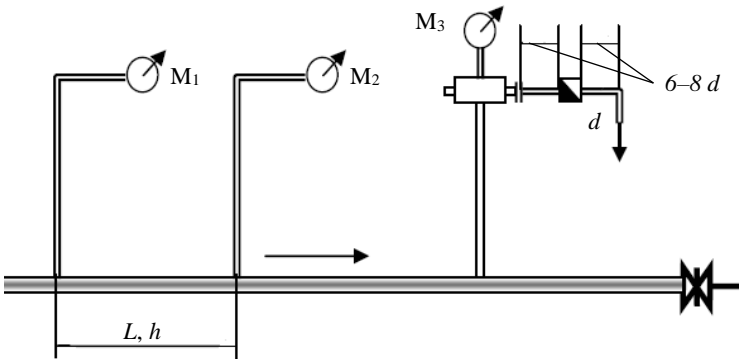


Рисунок 4.5 – Схема определения сопротивления участка сети с регистрируемым сбросом воды [30]

*Способ трех манометров* (рисунок 4.6) используется в тех случаях, когда нельзя прекратить транзитный расход. Все потребители между манометрами  $M_1$  и  $M_3$  должны быть отключены. Производится два измерения: без сброса и со сбросом расхода в точке 2. При этом фиксируются показания трех манометров, расходы, а затем определяются потери напора на обоих участках и фактическое сопротивление трубопроводов.

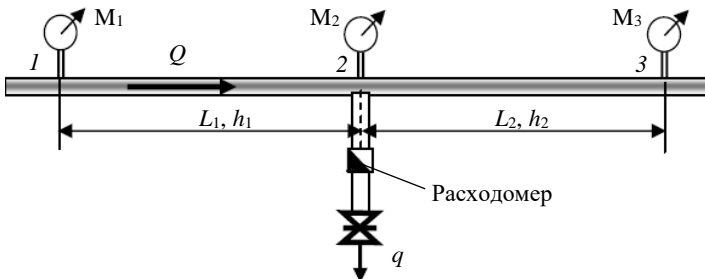


Рисунок 4.6 – Схема определения сопротивления участка сети методом «трех манометров» [30]

Если в измерениях без сброса гидравлический уклон одинаков на обоих участках, то фактическое сопротивление (по результатам измерений со сбросом в точке 2)

$$A_{\Phi} = \frac{1}{q^2} \left( \sqrt{\frac{h_1}{L_1}} - \sqrt{\frac{h_2}{L_2}} \right)^2, \quad (4.16)$$

где  $L_1, L_2, h_1, h_2$  – длины участков и потери напора при замеренном расходе.

При разных гидравлических уклонах замеряются потери без сброса воды  $h$  и со сбросом  $h^*$ , затем определяются удельные сопротивления:

$$A_1 = \frac{\left( \sqrt{h_1 h_2^*} - \sqrt{h_1^* h_2} \right)^2}{q^2 L_1 h_2^*}, \quad (4.17)$$

$$A_2 = \frac{\left( \sqrt{h_1 h_2^*} - \sqrt{h_1^* h_2} \right)^2}{q^2 L_2 h_1^*}. \quad (4.18)$$

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 сравниваются со справочными данными [41]. Если удельное сопротивление окажется заметно меньше расчетного (на 20–30 %), то в замерах сделаны ошибки. Если сопротивление намного больше расчетного, то возможными причинами это могут быть:

- ошибки в замерах или вычислениях;
- сильное обрастание или отложения в трубопроводах;
- скопления воздуха в повышенных точках участков;
- какая-то задвижка прикрыта или неисправна.

### 4.1.3 Манометрическая съемка на сети

**Манометрическая съемка** проводится с целью выявления участков с повышенным сопротивлением, определения напоров у потребителей и оптимизации режима работы водопроводной сети.

Манометрическая съемка позволяет также обнаружить нарушения и сбои в работе водопроводной сети, вызванные авариями на сети, зарастанием труб и другими факторами.

Достоверные результаты могут быть получены при одновременной съемке в большом числе точек и при примерно постоянном расходе. Часто это практически невозможно сделать.

Съемка ведется по зонам сети. На схеме сети тщательно разрабатывается маршрут, намечаются характерные точки (минимум 3–10):

- высокие и низкие отметки земли;
- места подключения крупных потребителей;
- основные пересечения магистралей (не менее 70 % точек пересечения);
- подключение резервуаров и т. п.

В характерных точках желательно поставить *манометры-самописцы* либо *датчики с модемами* (класса точности 0,4–0,6), передающими показания в диспетчерский пункт. Съемка производится 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 съемка прекращается и повторяется в другие сутки в то же время.

Методика проведения испытаний зависит от диаметра трубопроводов и осуществляется следующими **способами**.

1 *Сброс воды через один пожарный гидрант* – рекомендуется для испытаний на линиях сети диаметром до 300 мм. Для измерения выбирается участок, на котором располагается не менее трех пожарных гидрантов (рисунок 4.7). На первых двух устанавливаются манометры для фиксации напоров в этих точках и определения по ним потерь напора. На третьем гидранте производится сброс воды. Во время испытания все потребители на испытываемом участке отключаются, задвижка закрывается. Степень зарастания трубопровода определяется как отношение расчетного удельного сопротивления трубопровода, полученного на основании расчета и опытных данных, и удельного сопротивления трубопровода данного диаметра по таблицам Ф. А. Шевелева [41]. Погрешность измерений не должна превышать 5 %.

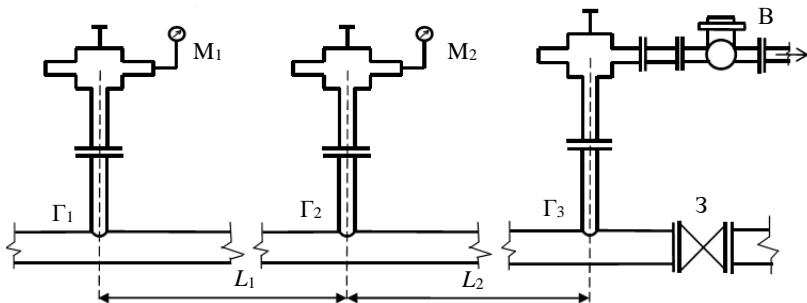


Рисунок 4.7 – Схема измерения гидравлических сопротивлений труб диаметром до 300 мм [30]:

$M_1, M_2$  – манометры; В – водомер;  $G_1, G_2, G_3$  – пожарные гидранты; З – задвижка

2 Сброс воды через несколько последовательно расположенных пожарных гидрантов.

3 Сброс воды через стендер, снабженный специальной насадкой – как и предыдущий способ является модификацией первого. Позволяет измерять сопротивления линий диаметром до 400 мм путем увеличения контролируемого расхода, погрешность составляет 5–10 %.

4 Способ «трех манометров» – на исследуемом участке устанавливаются три манометра (см. рисунок 4.6), между  $M_1$  и  $M_3$  сбрасывается расход  $q$ , который составляет 10–15 % от транзитного расхода  $Q$ . При этом происходит контроль напора в начале и в конце участка, а также в точке сброса расхода  $q$ . Погрешность составляет 5 %.

На основании полученных данных строится карта изолиний (равных напоров) и пьезометрические линии.

Манометрическая съемка позволяет произвести предварительный анализ работы СПРВ и установить:

- зоны с недостаточными или избыточными свободными напорами;
- перегруженные и недогруженные участки сети (участки со слишком большими или малыми потерями напора);
- наметить «узкие» места сети;
- сделать предварительное заключение о необходимости строительства станций регулирования или зонирования сети.

В результате такого анализа можно могут быть устранены наиболее простые дефекты, например, обнаружены прикрытые или неисправные задвижки. Иногда удается выявить несанкционированные подключения к сети.

Намеченные меры по интенсификации сети (например, укладка дополнительных линий) должны быть проверены дополнительными расчетами.

#### **4.1.4 Моделирование работы магистральных и распределительных водопроводных сетей**

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 СПРВ. Использование таких моделей

позволяет рассмотреть разные варианты интенсификации СПРВ и оценить их эффективность с технико-экономических позиций.

Построение модели производится в следующем порядке.

1 Составляются расчетные схемы СПРВ, на которых должна быть информация обо всех узлах сети, участках, водопитателях (насосные станции, башни, резервуары).

2 Определяются фактические узловые расходы. Для этого на планах сетей «привязываются» потребители воды к определенным узлам. Затем определяются среднечасовые расходы в узлах.

Максимальные и минимальные часовые расходы определяются по результатам обследования водопотребителей, а также режимов работы насосных станций.

3 Вводятся коррективы в сопротивления участков. Для этого используются результаты, полученные при определении гидравлического сопротивления участков и манометрической съемке сети. Для тех участков, сопротивление которых не определялось, вводятся коэффициенты увеличения сопротивления, полученные на основе экспериментов, либо значения эквивалентной шероховатости, также полученные в ходе обследования сети.

4 Производятся гидравлические расчеты СПРВ с применением специальных компьютерных программ.

Гидравлический расчет СПРВ выполняется 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 вносятся коррективы. Данные операции производятся многократно – до тех пор, пока отклонения значений вычисленных и фактических напоров в сети не будут превышать заданную величину (обычно  $\pm 1$  м).

5 Производится расчет СПРВ на необходимые после реконструкции значения расходов системы. Анализ результатов расчетов позволяет уточнить предварительные результаты, полученные при анализе манометрической съемки сети, так как использование эквивалентной модели сети дает более полную и точную информацию. Кроме уточненных данных о зонах с недостаточными или избыточными свободными напорами, перегруженных или недогруженных участках сети, получается информация о 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.

## 4.2 Увеличение пропускной способности систем подачи и распределения воды

### 4.2.1 Безбашенные системы

**Безбашенная 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 (рисунок 4.8).

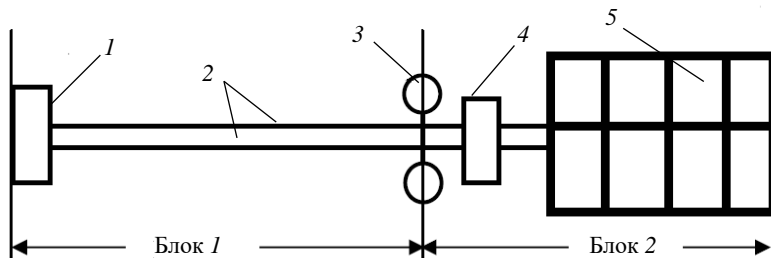


Рисунок 4.8 – Схема безбашенной системы подачи и распределения воды:  
1 – насосная станция второго подъема (НС-II); 2 – водоводы; 3 – резервуары чистой воды (РЧВ); 4 – насосная станция третьего подъема (НС-III); 5 – сеть

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.

Анализ возможных способов увеличения производительности до расчетного значения производится по каждому блоку.

Для **блока 1 (НС-II – водоводы – РЧВ)** возможны следующие способы увеличения расхода до необходимого значения:

1 *Замена насосов на НС-II.* В первую очередь рассматриваются варианты замены насосов. В этом случае насосная станция нуждается в минимальной реконструкции.

2 *Расширение насосной станции и установка дополнительных агрегатов* (рисунок 4.9). Если в насосной станции не предусмотрен резервный фундамент для насоса и невозможно обойтись без расширения машинного зала, то этот вариант будет дороже первого. Если насосные станции сильно заглублены, то сложность работ возрастает. При реконструкции необходимо учитывать, что недопустим длительный перерыв в подаче воды.

3 *Строительство дополнительной повысительной насосной станции.* Данный вариант применяется в случае, если первые два по каким-либо причинам неприемлемы.

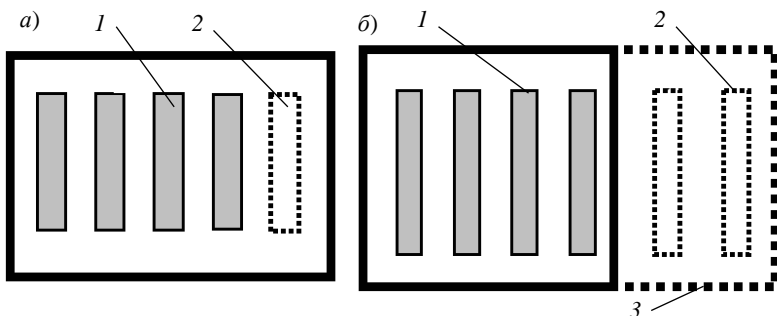


Рисунок 4.9 – Варианты реконструкции насосной станции [30]:  
*a* – установка насоса на резервный фундамент; *б* – расширение насосной станции;  
 1 – существующие насосы; 2 – дополнительные насосы; 3 – пристраиваемая часть

Если напор насосов или давление в водоводах оказывается больше допустимого при пропуске увеличенного расхода, рассматривают вариант строительства промежуточной насосной станции (рисунок 4.10). 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.

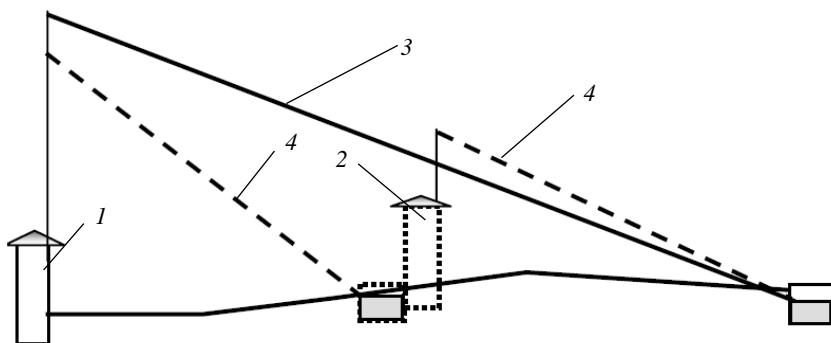


Рисунок 4.10 – Повысительная насосная станция:  
 1 – существующая насосная станция НС-II; 2 – повысительная насосная станция; 3 – пьезометрическая линия, соответствующая пропуску «нового» расчетного расхода по существующим линиям; 4 – пьезометрические линии при вводе повысительной насосной станции

**4 Реконструкция только водоводов при неизменной насосной станции.**  
 Если в результате обследования оказывается, что пропускная способность водоводов недостаточна, то в первую очередь необходимо выполнить:



- 1) санацию и реновацию водоводов;
- 2) очистку поверхности водоводов и внутреннего цементно-песчаного (или другого) покрытия;
- 3) наращивание 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* (рисунок 4.11).

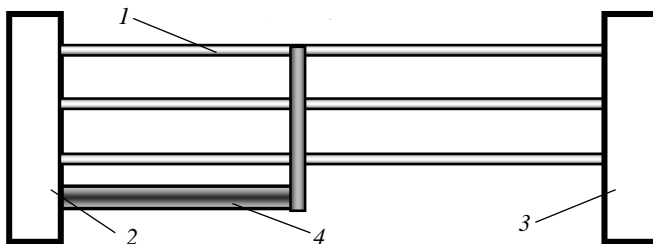


Рисунок 4.11 – Строительство водовода на части трассы:  
 1 – существующие водоводы; 2 – насосная станция второго подъема;  
 3 – насосная станция третьего подъема; 4 – дополнительный водовод

**5 Одновременная реконструкция насосной станции и прокладка водоводов.** В качестве примера рассмотрена задача увеличения подачи воды для системы НС-II – водоводы – РЧВ с 22 тыс. до 35 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Вода подается двумя рабочими насосами марки Д-500-65 по двум водоводам диаметром 400 мм (рисунок 4.12).

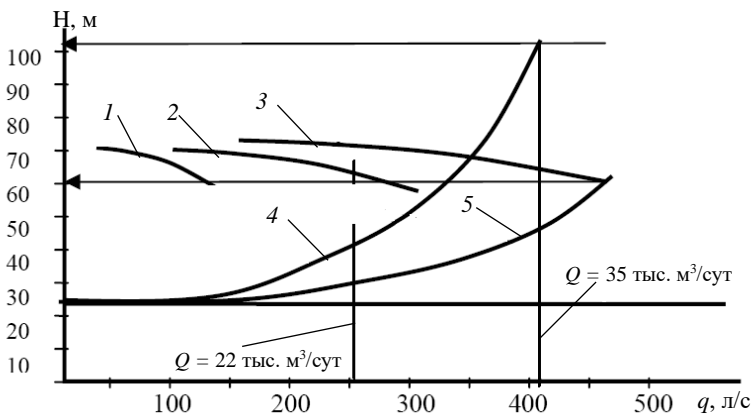


Рисунок 4.12 – График совместной работы насосов и водоводов:  
 1 – характеристика одного насоса; 2 – характеристика двух насосов; 3 – характеристика трех насосов; 4 – характеристика двух водоводов; 5 – характеристика трех водоводов

Существующие два водовода не смогут пропустить расход 35 тыс. м<sup>3</sup>/сут (405 л/с), поскольку требуемый напор в начале системы водоводов будет превышать 90 м (пределный напор для труб марки ВТ-9). Поэтому необходимо строительство дополнительный водовода.

Однако существующие два насоса не обеспечат нужную производительность, следовательно, необходимо установить дополнительный третий агрегат той же марки. Таким образом, для решения поставленной задачи придется произвести реконструкцию и насосной станции, и водоводов.

Для блока 2 (система НС-III – сеть), 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 (среднечасовые расходы). Данные о подаче воды в сеть на период обследования принимаются по приборам НС-III.

Далее с использованием эквивалентной модели сети производится ее поверочный расчет и при необходимости вносятся корректировки в модель (методика описана приведена п. 4.1.4).

На основании анализа результатов расчета и сопоставления их с результатами съемки на сети определяются:

- 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, которые могут быть обусловлены неисправностью арматуры, засорами, некачественной врезкой 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).

В результате потребные напоры в начале сети уменьшатся. Возможно, что в этом случае существующие насосы смогут обеспечить необходимую производительность.

Зонирование районов с повышенными отметками или этажностью может обеспечить снижение напоров в начале сети (например, с помощью местных (микрорайонных) насосных станций).

Необходимость зонирования возникает при больших перепадах отметок земли либо при большой протяженности. Ориентировочное число зон

$$n \geq \frac{Z_{\max} - Z_{\min} + H_{\text{св}} + \sum h_c}{H_{\text{доп}}}, \quad (4.19)$$

где  $Z_{\max}$ ,  $Z_{\min}$  – максимальная и минимальная отметки земли, м;  
 $H_{\text{доп}}$  – максимально допустимый свободный напор в сети, м;  
 $H_{\text{св}}$  – минимальный требуемый свободный напор в сети, м;  
 $\Sigma h_c$  – суммарные потери напора в сети, м.

Если потери в сети равны 10–15 м, то необходимы зоны 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).

Длина зоны, м,

$$L = \frac{H_{\text{доп}} - H_{\text{св}} - (Z_{\max} - Z_{\min})}{i_{\text{cp}}}, \quad (4.20)$$

где  $i_{\text{cp}}$  – средний гидравлический уклон в сети (ориентировочно 2–4 м/км).

*Изменение точек питания сети* также позволяет увеличить пропускную способность сети и снизить затраты электроэнергии. Расположение точек питания сети в системе подачи и распределения воды 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 рисунке 4.13) давление в сети снижается – пьезометрическая линия 3 проходит ниже, чем при одной точке питания 2. 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, так как может потребоваться их замена.

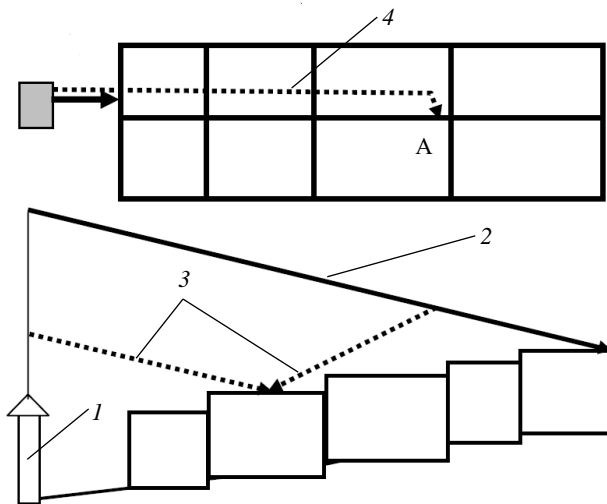


Рисунок 4.13 –  
 Устройство дополнительной точки  
 питания сети:  
 1 – насосная станция  
 третьего подъема;  
 2 – пьезометрическая  
 линия при одной точке  
 питания сети; 3 – пьезометрическая  
 линия при двух точках пита-  
 ния сети; 4 – дополни-  
 тельный водовод

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.

#### 4.2.2 Башенные системы

**Башенные СПРВ** – это системы с водонапорными башнями (ВБ) и с контррезервуарами (КР).

В настоящее время в Республике Беларусь системы водоснабжения с водонапорными башнями применяются только в малых населенных пунктах.

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 сети;
- изменение числа питающих НС;
- изменение количества ВБ;
- расширение НС;
- зонирование;
- строительство КР;
- перекладка или дополнительная прокладка участков сети и т. п.

Рассмотрим пример. На рисунке 4.14 представлена схема с ВБ в середине сети. Если в какой-либо зоне напор становится недостаточным, то развитие системы возможно путем строительства:

- 1) дополнительной башни (рисунок 4.14, *а*);
- 2) насосной станции (рисунок 4.14, *б*).

Если при реконструкции высота ВБ достаточна, но мал объем бака, может оказаться целесообразным строительство РЧВ и НС возле ВБ. При этом ВБ 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)* становятся экономически нецелесообразными из-за больших напоров в сети при наполнении КР.

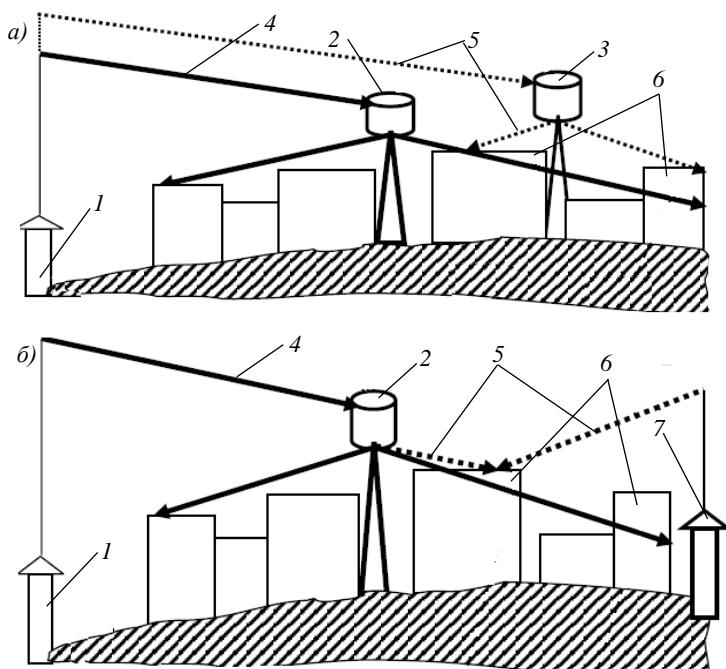


Рисунок 4.14 – Варианты развития системы подачи и распределения воды с водонапорной башней при недостаточных напорах:  
 а – строительство дополнительной ВБ; б – строительство дополнительной НС;  
 1 – насосная станция; 2 – существующая водонапорная башня;  
 3 – новая водонапорная башня; 4 – пьезометрические напоры в сети до реконструкции; 5 – пьезометрические напоры в сети после реконструкции; 6 – зоны недостаточного напора; 7 – новая насосная станция

### 4.2.3 Системы с узлами регулирования

В обычной безбашенной схеме в сети имеются избыточные давления, которые возрастают при снижении подачи воды (рисунок 4.15). 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 регулирования* – это комплекс сооружений, состоящий из резервуаров и насосной станции, которая работает только в периоды максимального водоразбора.

Основная НС проектируется на среднечасовое потребление (рисунок 4.16). 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 относится:

- появление новой площадки, резервуаров и насосной станции;
- введение дополнительного обслуживающего персонала.

Работу узла регулирования целесообразно автоматизировать – в этом случае расходы на содержание персонала будут минимальными.

При гидравлическом расчете определяются места размещения узлов регулирования, подача насосных станций (основной и узла регулирования), место и объем РЧВ, схема их питания (рисунок 4.17).

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 осуществляется не только внутренняя увязка сети, но и внешняя, что позволяет выявить условия взаимодействия сети, основной НС, регулирующих РЧВ и НС узла регулирования.

Рисунок 4.15 – Избыточные давления при питании сети от насосной станции:

1 – насосная станция; 2 – линия требуемых напоров

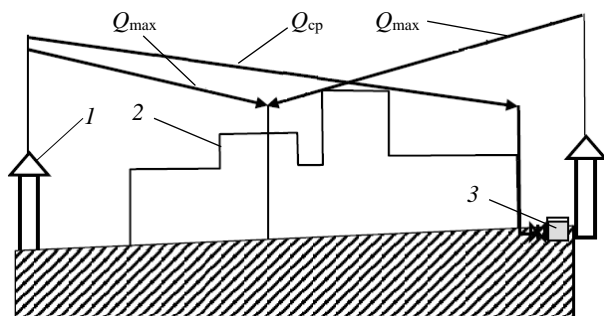
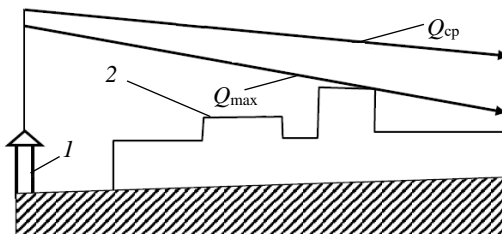


Рисунок 4.16 – Схема с узлом регулирования:

1 – насосная станция; 2 – линия требуемых напоров;  
3 – узел регулирования

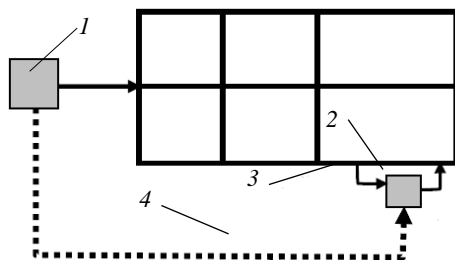


Рисунок 4.17 – Схема питания узла регулирования:  
 1 – насосная станция; 2 – узел регулирования; 3 – вариант 1 (через сеть); 4 – вариант 2 (транзитным водоводом)

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

Решение задачи интенсификации работы СПРВ в каждом блоке может быть достигнуто несколькими способами. Для выбора оптимального решения необходимо проводить сравнение вариантов по *приведенным затратам с учетом*:

- 1) возможности и трудоемкости реализации того или иного варианта при производстве работ в условиях непрерывно действующих остальных сооружений;
- 2) потребления электроэнергии;
- 3) избыточных напоров в сети.

### 4.3 Интенсификация работы насосных станций

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:*

- обточка (обрезка) рабочих колес насосов;
- замена насосов на более совершенные конструкции с более высокими КПД либо с более подходящими рабочими характеристиками;
- использование более широкого набора насосов, позволяющего работать в зоне высоких КПД при любых режимах водопотребления;
- регулирование работы насосов;
- рациональное управление работой насосов.

#### 4.3.1 Методы регулирования работы насосов

Насосы являются основными потребителями электрической энергии на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства.

Одним из способов снижения энергозатрат является **регулирование работы насосов**. Необходимость регулирования возникает в тех случаях, когда напор, создаваемый насосом, больше напора, требуемого потребителю.

Рассмотрим пример работы насоса на водопроводную сеть (рисунок 4.18). Предположим, он подобран на режим максимального водопотребления. При этом подбор идеален – точка пересечения характеристик насоса и сети точно соответствует потребным параметрам ( $q = q_{\max}$ ,  $H = H_{\max}$ ). Но необходимо иметь в виду, что в сложившейся практике проектирования подбор насосов всегда производится с некоторым запасом, т. е. создаваемый напор больше необходимого ( $H > H_{\max}$ ).

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 3 станет более крутой. Напор насоса при этом станет равным  $H_1$ . Однако сеть может пропустить нужный расход при напоре  $H_{11}$ .

Таким образом, насос будет создавать избыточный напор

$$\Delta H = H_1 - H_{11}. \quad (4.21)$$

Избыточная **потребляемая** мощность определяется по формуле

$$\Delta N = q_1 \Delta H / 102 \eta_a, \quad (4.22)$$

где  $\eta_a$  – коэффициент полезного действия агрегата (насос и электродвигатель), равный произведению КПД насоса и двигателя  $\eta_a = \eta_n \eta_d$ .

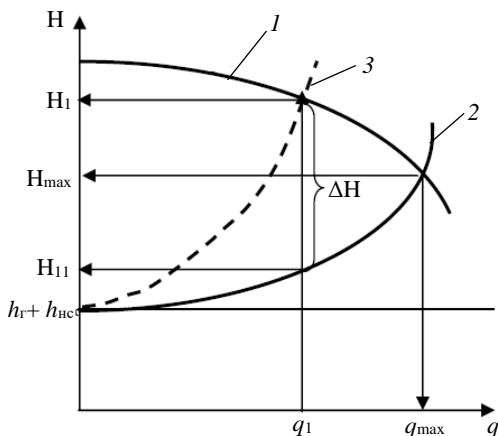


Рисунок 4.18 – Совместная характеристика насоса и сети:  
 1 – характеристика насоса;  
 2 – расчетная характеристика сети;  
 3 – характеристика сети при увеличении сопротивления

Одновременно на величину  $\Delta H$  возрастает напор в сети, что приводит к увеличению расхода (это и утечки, и нерациональное использование воды потребителем). Следовательно, целесообразно предусматривать регулирование насосов.



## Способы регулирования работы насосов:

1 *Дросселирование* заключается в снижении подачи насоса путём прикрытия задвижки на напорном патрубке, увеличением потери напора в ней на величину  $\Delta H$ . В принципе подача насоса может быть уменьшена, если прикрывать задвижку на всасывающем патрубке, однако при этом возрастает опасность кавитации.

Характеристика системы «насос + задвижка» построена путем отнимания потерь напора в задвижке от характеристики насоса. В этом случае потребляемая насосом мощность мало изменится по сравнению с отсутствием регулирования (рисунок 4.19).

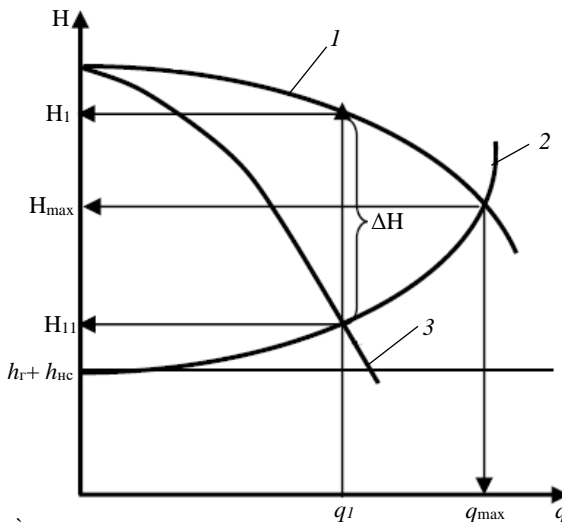


Рисунок 4.19 – Совместная характеристика насоса и сети при дросселировании задвижкой:

1 – характеристика насоса; 2 – расчетная характеристика сети;  
3 – характеристика системы «насос + задвижка»

Небольшое снижение потерь энергии будет за счет уменьшения избыточных напоров в сети и связанных с ними снижением потерь воды. Если дросселирование задвижкой технически допустимо, а других способов регулирования насосов нет, то такое регулирование считается целесообразным.

К *преимуществам* этого метода относятся:

- простота реализации;
- отсутствие необходимости дополнительных капиталовложений;
- сокращение напоров в сети;
- уменьшение числа аварий на сети из-за уменьшения давления;
- снижение потерь воды.

*Недостатки метода:*

– перерасход энергии;

– сильное прикрытие задвижек может привести к выходу их из строя.

2 *Регулирование перепуском воды* заключается в перепуске части жидкости, подаваемой насосом, из напорного патрубка во всасывающий трубопровод по обводной линии, на которой установлена задвижка для регулирования работы установки.

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

3 *Регулирование впуском воздуха* во всасывающий трубопровод является более экономичным методом, чем дросселирование, но глубина регулирования ограничивается возможным резким ухудшением кавитационных характеристик насоса. Кроме того, в системах водоснабжения нельзя подавать в сеть воду с большим количеством воздуха.

4 *Регулирование поворотом лопастей насоса* применяется в средних и крупных поворотно лопастных осевых насосах.

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

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

5 *Регулирование изменением частоты вращения насоса*. При изменении частоты вращения насоса характеристика насоса уменьшается (рисунок 4.20).

Связь параметров насоса с числом его оборотов описывается формулами:

$$q_1 / q_2 = n_1 / n_2, \quad (4.23)$$

$$H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2, \quad (4.24)$$

$$N_1 / N_2 = (n_1 / n_2)^3, \quad (4.25)$$

где  $q$  – подача, л/с;

$n$  – частота вращения об/мин;

$H$  – напор, м;

$N$  – мощность электродвигателя, кВт.

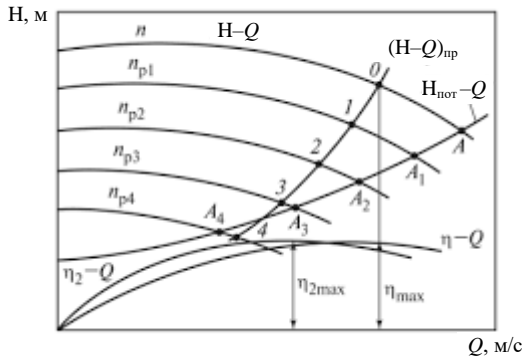


Рисунок 4.20 – Регулирование насоса изменением числа оборотов

*Изменение частоты вращения насоса может быть реализовано следующими способами.*

- 1 Использование двигателей с переменной частотой вращения:
  - электродвигателей постоянного тока;
  - электродвигателей переменного тока с переключением обмотки на различное число пар полюсов (*двигателей, используемых в СТОЗ, в т.ч. в горячем водоснабжении и т. д.*);
  - двигателей внутреннего сгорания.
- 2 Применением гидромufты или электромагнитной мufты скольжения.
- 3 Изменением частоты тока.

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

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

Электромагнитные мufты скольжения одно время считались довольно перспективными, но в последнее время наибольшее распространение получили частотные преобразователи тока для регулирования работы насосов.

В настоящее время на практике безусловное предпочтение отдается принципу управления числом оборотов двигателя насоса по сравнению с дроссельным или рециркуляционным решением. Альтернативные способы: двигатели постоянного тока, вязкое сцепление (гидромufты) 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. Относительно высокие затраты на приобретение насосов с электронным управлением окупаются, как правило, очень быстро.

#### 4.3.2 Методы управления насосной станцией

Под рациональным управлением насосной станцией понимаются 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. Например, 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 %.

Весьма велики колебания необходимых напоров на выходе из насосных станций.

Рассмотрим упрощенную схему работы насосной станции на водопроводную сеть: город застроен 9-этажными домами, местность с плоским рельефом (рисунок 4.21). Потери напора в сети при максимальном водоразборе составляют 16 м, минимальный расход – в два раза меньше максимального. Необходимый свободный напор для 9-этажной застройки при максимальном водоразборе – 42 м, при минимальном – 34 м.

Напор в начале сети при максимальном водоразборе равен 58 м (42 + 16), а при минимальном – 38 м (34 + 4). Таким образом, напоры насосной станции в этих режимах отличаются на 20 м. Если при минимальном расходе использовать тот же насос, что и при максимальном, то при таком же развиваемом напоре (а фактически напор при уменьшении подачи растёт) во всей сети будут созданы значительные избыточные напоры (позиция 4 на рисунке 4.21). В результате в диктующей точке будет избыточный напор 20 м, а в остальных точках – еще больше. Отсюда следует целесообразность применения регулирования напоров на выходе из насосной станции.

**Способы регулирования напоров** на существующей насосной станции:

- 1) выбор подходящего насоса или их сочетания;
- 2) регулирование параметров нескольких или одного из работающих насосов (см. п. 4.3.1);
- 3) использование автоматизированных систем управления (АСУ) работой систем подачи и распределения воды.

Из перечисленных способов наиболее эффективным является последний – использование АСУ, но ее создание требует значительных капи-

тальных затрат и решения ряда сложных технических задач, к которым, в частности, относится передача диспетчеру оперативной информации о работе системы (например, напоров в диктующих точках сети).

Поэтому более реальным способом управления для большинства Водоканалов могут процессы:

- управление ПНС;
- управление в «низкой» частью сети до ПНС.

Одним из наиболее простых способов управления насосной станцией является **автоматизация работы насосов** путем поддержания заданного давления на выходе из насосной станции. Этот способ часто используется для сравнительно небольших подкачивающих насосных станций с использованием оборудования фирм *Wilo* или *Grundfos*.

Контроль и управление работой многонасосными установками фирмы *Wilo* 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 (рисунок 4.22).

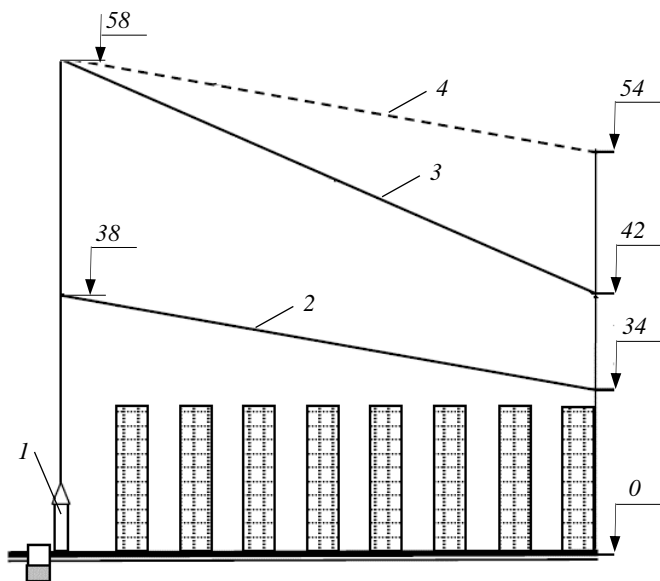


Рисунок 4.21 – Схема к определению напора насосной станции: 1 – насосная станция; 2 – пьезометрическая линия (необходимый напор) при минимальном расходе; 3 – пьезометрическая линия (необходимый напор) при максимальном расходе; 4 – пьезометрическая линия (фактический напор) при максимальном расходе

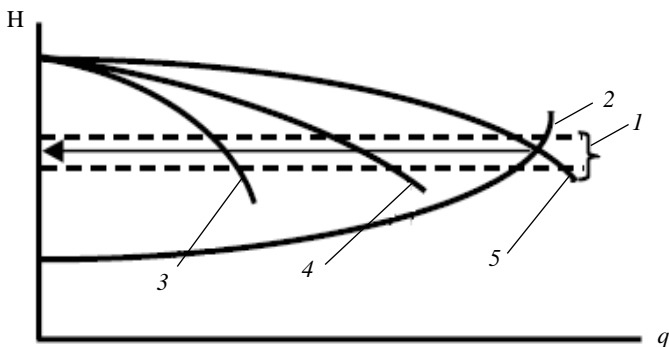


Рисунок 4.22 – Работа насосной установки с управлением по заданному давлению с частотным преобразователем:  
 1 – заданный диапазон давлений; 2 – расчетная характеристика сети;  
 3, 4, 5 – характеристики соответственно одного, двух и трех работающих насосов

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. Но и в этой схеме будет перерасход энергии. Диапазон напоров, поддерживаемых на выходе из НС, выше, чем требуемые давления, определяемые характеристикой сети 2, которая проходит ниже, чем полоса заданных давлений (см. рисунок 4.22).

Наилучшие результаты с точки зрения энергосбережения дает **управление по давлениям в контрольных точках сети**. Капитальные затраты при этом несколько увеличиваются за счет затрат на установку датчиков давления на сети и передачу сигналов от датчиков в пункт управления.

При размещении датчиков необходимо иметь в виду, что положение диктующей точки на сети может поменяться при изменении подачи (рисунок 4.23). Поэтому ограничиться одной контрольной точкой не всегда удастся. Также 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.

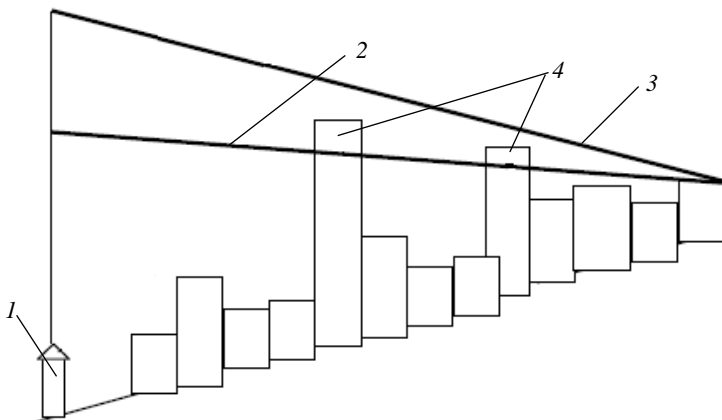


Рисунок 4.23 – Изменение положения диктующих точек в сети при изменении водопотребления:

- 1 – насосная станция; 2 – пьезометрическая линия при минимальной подаче; 3 – пьезометрическая линия при максимальной подаче; 4 – зоны недостаточных напоров

## 4.4 Реконструкция сетей водоснабжения

### 4.4.1 Восстановление пропускной способности трубопроводов

Главными причинами уменьшения пропускной способности трубопроводов являются коррозия и отложения солей жесткости.

Методы восстановления пропускной способности.

**1 Реагентные** заключаются в химической очистке, при которой отложения удаляются циркулирующей промывочного раствора в замкнутом контуре агрегатов. Химический раствор после промывки нейтрализуется и сбрасывается в канализацию. Достигается 100%-я очистка поверхностей.

**2 Безреагентные**, к которым относятся:

– *механический* – заключается в том, что отложения в трубе очищаются при помощи различных насадок. Является наиболее простым способом очистки внутренней полости труб;

– *ультразвуковой* – основан на возбуждении ультразвуковых колебаний на поверхности трубопроводов и отложений, которые приводят к появлению усталостных трещин в отложениях и последующему их отделению от металла;

– *высоконапорный гидравлический* – в основу метода положен принцип превращения энергии высокого давления воды, подаваемой в трубопровод через специальное сопло, в кинетическую энергию потока. Поток воды, движущейся с высокой скоростью на выходе из сопла, отрывает отложения с внутренней поверхности трубопровода;

– *гидрокавитационный* – вода высокого давления входит в трубопровод в форме кавитирующей струи, формируемой с помощью специальных насадок. Вызванные кавитацией пузырьки воздуха схлопываются и приводят к разрушению отложений, отрыву их от поверхности и выносу из трубопроводов протекающей водой;

– *термоабразивный* – в специальном устройстве создается сверхзвуковая газово-топливной нагретая струя, двигающаяся в трубе абразивный порошок из шлаковых отходов. В результате этого воздействия происходит отрыв отложений любого состава и толщины от стенок и выброс совместно с абразивом из очищаемой трубы;

– *гидромеханический* – разрушение отложений происходит с помощью вращающейся роликовой или конической зубчатой коронки специального профиля с последующим удалением отложений потоком движущейся воды;

– *электрогидроимпульсный* – принцип его действия основан на преобразовании электрической энергии в механическую при высоковольтном разряде в жидкости. Ударная волна и гидродинамические потоки, образующиеся при электрическом разряде в жидкости, наполняющей очищаемую трубу, разрушают накипь и другие отложения на внутренней, а зачастую и на внешней поверхности труб.

#### **4.2.2 Бестраншейные методы реконструкции водопроводов**

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

**Бестраншейные методы реконструкции** – это технологии, дающие возможность без вскрытия существующего трубопровода заменить его на этом же месте новым с одинаковым или измененным поперечным сечением. Основными *преимуществами* бестраншейной прокладки и реконструкции трубопроводов, независимо от способа выполнения работ, являются:

– экономия материальных и трудовых ресурсов;

– снижение экономических затрат за счет сокращения сроков выполнения работ;

– уменьшения объемов земляных работ.

Бестраншейные технологии прокладки и реконструкции трубопроводов выполняются с минимальным количеством техники и считаются экологозащитными.

Бестраншейные технологии относительно реконструкции подземных трубопроводов делятся:



- на технологии без разрушения старого трубопровода (**релейнинг**);
- с разрушением старого трубопровода (**реновация**).

### **Основные методы релейнинга.**

1 *Облицовка внутренних поверхностей трубопроводов цементно-песчаным покрытием* осуществляется центробежным способом с помощью электрической метательной головки облицовочного агрегата, протаскиваемого внутри трубопровода посредством троса и лебедки. Толщина наносимого слоя покрытия зависит от диаметра труб. За один проход можно нанести слой толщиной 3–18 мм.

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

Наряду с антикоррозионным защитным эффектом цементно-песчаное покрытие улучшает и гидравлические характеристики трубопровода.

Причиной этого является отсутствие коррозии и отложений в трубе, а также образование на поверхности покрытия скользкого гидрофильного (гелевого) слоя, состоящего из мельчайших частиц глины и железомарганцевых отложений.

*Преимуществом* данного метода ремонта трубопроводов является высокая экологическая безопасность и надежность цементно-песчаного защитного слоя, что весьма важно для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. Затвердевшее цементно-песчаное покрытие надежно герметизирует небольшие локальные поверхности в теле трубы, а также нарушенные стыковые соединения.

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

*Недостатком* метода является то, что колена и отводы, а также вертикальные опуски и подъемы трубопроводов малых диаметров остаются практически недоступными для нанесения цементно-песчаного покрытия.

Пожарные гидранты, хотя и временно, должны быть демонтированы. Работы могут выполняться только при положительных (более + 5 °С) температурах окружающего воздуха.

*2 Облицовка внутренних поверхностей трубопроводов гибкими рукавами* (чулочная технология) применяется для труб диаметром 100–800 мм. Сущность данного метода заключается в том, что на внутреннюю поверхность ремонтируемого трубопровода наклеивается гибкий полимерный или стеклопластиковый рукав. В данном случае тонкая ткань рукава является всего лишь пассивной защитой внутренней поверхности трубы от воздействия на нее транспортируемой среды.

На наружную поверхность свободного конца трубопровода натягивается облицовочный рукав, внутренняя поверхность которого по всей длине предварительно обработана специальным клеящим составом. Затем вручную на длину вытянутой руки облицовочный рукав выворачивается внутрь трубопровода и приклеивается к его внутренней поверхности. Дальнейшее продвижение рукава по трубопроводу осуществляется за счет подачи в образовавшиеся пазухи через трубопровод сжатого воздуха или воды под давлением. После полного протаскивания рукава и удаления воды (в случае ее использования) облицовочная поверхность трубопровода подвергается специальной обработке в зависимости от применяемого материала рукава и вида клеящего состава.

Для быстрого и качественного отверждения клеящего состава широко используется подача в трубопровод пара под давлением.

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

*Преимуществом* метода является высокая степень проходимости гибких рукавов по трубам, т. е. практически все внутренние поверхности трубопровода доступны для облицовки данным методом.

*3 Введение полимерных труб меньшего диаметра* («труба в трубе»). Сущность метода заключается в том, что в изношенный трубопровод вводятся новые полимерные трубы меньшего диаметра. Образовавшийся кольцевой зазор между новой и старой трубами заделывается различными составами. Пропускная способность нового трубопровода может уменьшаться.

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

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

В другом случае трубопровод большой длины из высокопрочного полиэтилена в заводских условиях термомеханическим способом деформируется таким образом, что его поперечное сечение приобретает *U*-образную форму (рисунок 4.24), значительно уменьшаясь в размерах.



Рисунок 4.24 – Трубопровод из высокопрочного полиэтилена *U*-образной формы

После введения полиэтиленового трубопровода в старую трубу концы его обрезаются и перекрываются специальными запорными крышками. При подаче в этот трубопровод пара под давлением труба восстанавливает свою первоначальную круглую форму (эффект памяти трубы) и плотно прилегает к старой трубе-оболочке.

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

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

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

**Реновация** заключается в прокладке нового трубопровода по трассе с разрушением старого. Специальным дробящим снарядом производится разрушение (дробление) старого трубопровода.

Остатки разрушенной трубы этим же снарядом с большим усилием вдавливаются в грунт, в результате чего образуется горизонтальная выработка круглой формы с уплотненными стенками, диаметр которой больше диаметра разрушенного трубопровода.

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

Этот метод применяется для бестраншейной замены трубопроводов небольших диаметров.

#### **Основные методы реновации.**

1 *Применение пневмопробойника.* В стартовом котловане размещается пневмопробойник с расширительной гильзой, к нему присоединяются

пневматический шланг и трос лебедки, протянутый через участок трубопровода, подлежащий замене. Следуя по ходу старой трубы, пневмопробойник разрушает ее, продавливая осколки в грунт, и одновременно затягивает в скважину новый трубопровод.

Этот способ используется при реконструкции систем из бетонных, чугунных, асбестоцементных, стальных и полимерных труб.

*2 Применение тросовой лебедки.* Тяговый трос заводится через старый трубопровод. Затем производится монтаж расширителя, ножа и новой ПЭ-трубы. Раскалывающий инструмент лебедки разрушает старый трубопровод, увеличивая при этом диаметр скважины при помощи расширителя и одновременно затягивая новую трубу. Работы с использованием тросовых лебедок могут производиться как из котлована, так и из колодца в колодец.

Стандартно тросовые лебедки позволяют производить замену старых труб из стали, чугуна, бетона. Этот метод позволяет увеличить диаметр ремонтируемого трубопровода в 1,5–2 раза.

*3 Реконструкция при помощи гидравлического штангового разрушителя.* Замена изношенного трубопровода производится по участкам, ограниченным специально отрытыми котлованами. Стандартно разрушители позволяют раскалывать или разрезать трубы из полиэтилена, стали, керамики, чугуна и ковкого чугуна.

В стартовом котловане устанавливается штанговый разрушитель, штанги последовательно соединяются друг с другом и проталкиваются через старый трубопровод в приемный котлован. Далее на ведущую штангу монтируются разрушающий нож, расширитель и новая затягиваемая труба. Обратным ходом старый трубопровод разрушается, одновременно затягивается новая, как правило, полиэтиленовая труба.

*4 Реконструкция методом щитовой проходки.* Эта технология состоит в прохождении через существующий канал щитового комплекса большего диаметра, чем существующий трубопровод, его разрушении и внедрении вместо него нового большего сечения. Фрагменты разрушенного старого трубопровода и грунта вокруг него удаляются гидравлическим способом к траншее на входном котловане.

#### **4.4.3 Трубы, применяемые для восстановления и реконструкции сетей**

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

На сегодняшний день широкое распространение в качестве материала для изготовления трубопроводов для традиционной траншейной и бестраншейной технологий реновации инженерных сетей получил полиэтилен.

Полиэтиленовые трубопроводы повсеместно используются во всех странах, прежде всего, благодаря экономическим *преимуществам*:

- относительно низкой стоимости;
- гибкости;
- возможности образования плетей путем соединения встык с помощью сварки или муфт;
- устойчивости к долговременным гидравлическим нагрузкам и коррозии.

*Полиэтилен* представляет собой искусственное вещество, состоящее из цепи молекул. В зависимости от расположения, места положения и длины цепей достигаются требуемые свойства материала. Исходным пунктом для классификации труб из полиэтилена принято состояние напряжения при 20 °С и необходимости службы 50 лет. По данной классификации полиэтиленовые трубы ПЭ-63 относятся к первому поколению, ПЭ-80 – ко второму и ПЭ-100 – к третьему. С каждым поколением улучшаются такие показатели труб, как сопротивление внутреннему давлению и давлению грунта, противодействие образованию трещин и т. д.

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

В настоящее время выпускаются напорные полиэтиленовые трубы нового типа различных диаметров, наружная поверхность которых покрыта защитным слоем из полиолефина, наполненного минералом.

Такие трубы обладают повышенными механическими свойствами и предназначены для использования в сложных условиях, например таких, как санация изношенного участка металлического трубопровода в случае невозможности качественной подготовки его внутренней поверхности перед протягиванием полимерной трубы. При использовании данных труб для протягивания внутрь старых на их внешней поверхности не остается никаких заметных повреждений, в то время как при использовании обычных труб, изготовленных даже из полиэтилена ПЭ-100, часто могут наблюдаться повреждения поверхности, не совместимые с дальнейшим использованием.

При использовании полиэтиленовых труб для протягивания в ветхие стальные трубопроводы наиболее распространенным способом соединения стыков является сварное (на больших диаметрах) и резьбовое. *Преимуществами* сварного и резьбового соединений являются:

- отсутствие фасонных деталей, что не увеличивает диаметр трубы в месте стыка;
- быстрота монтажа отдельных отрезков труб, образующих протяженную трубную плетть, вводимую в восстанавливаемый трубопровод.

## 5 РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

Основные задачи реконструкции систем канализации:

- снижение эксплуатационных затрат;
- повышение надежности работы;
- замена трубопроводов со сверхнормативным сроком службы;
- увеличение производительности канализационных систем без дополнительного увеличения площадей;
- автоматизация управления технологическими процессами.

### 5.1 Оценка работы систем канализации

Технологическая эффективность работы систем канализации определяется сопоставлением проектных показателей (скорость движения сточных вод, диаметр трубопровода, количество отложений, наполнение и т. д.) с фактическими. Для этого проводится обследование систем канализации.

Этапы проведения обследования:

1) изучаются исполнительные чертежи сетей и топографическая съемка последних лет;

2) проводится тщательный осмотр системы для получения необходимых параметров;

3) вместе со службой эксплуатации выделяются наиболее нагруженные участки;

4) 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;

5) 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;

6) проверяется соответствие исследуемых параметров нормативам.

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 проводится с помощью видеокамеры.

Обследование сетей канализации позволяет:

- оценить состояние сетей на момент обследования;

- оценить соответствие обследованного оборудования технической документации;
- определить, что необходимо сделать для дальнейшего правильного функционирования сети.

Изменение численности населения и плотности городской застройки приводит к изменению расхода сточных вод, поступающих в городскую канализационную сеть и к снижению эффективности работы сети.

Увеличение расхода приводит к повышению скоростей движения жидкости в трубопроводах, что вызывает быстрый износ сетей и оборудования, работающих в условиях, превышающих проектные, и негативно сказывается на работе насосного оборудования канализационных насосных станции и очистных сооружений.

Снижение расхода может привести к загниванию сточных вод в трубопроводах и к повышенному отложению взвешенных веществ на стенках труб, ввиду снижения скоростей, что может повлечь за собой заторы и разрушение трубопровода. Все это усложняет эксплуатацию сетей и приводит к необходимости их реконструкции.

Коэффициенты неравномерности притока сточных вод определяются на основе анализа режима функционирования системы канализации, графиков притока сточных вод от жилой застройки, объектов производства, протяженности, конфигурации, конструктивного исполнения канализационных сетей.

Коэффициенты неравномерности притока часто отличаются от расчетов, что может оказаться причиной временной перегрузки систем.

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

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

Анализ состояния отдельных сооружений на сети канализации (камер перепадных колодцев, распределительных камер, дюкеров, эстакад, переходов под инженерными сооружениями) осуществляется в отдельности с использованием современных устройств и приборов.

Наиболее эффективным способом проведения оценки систем канализации является телевизионное обследование.

*Теледиagnostика* – инновационный метод мониторинга сетей, позволяющий в режиме «онлайн» осуществлять комплексную проверку состояния системы без необходимости её демонтажа и приостановки тока сред.

Теледиagnostика системы канализации обеспечивает:

- поверку объекта перед сдачей в эксплуатацию;

- плановую ревизию технического состояния сети, оценку внутренней поверхности трубопроводов;
- оценку трубопроводов после профилактических и очистных мероприятий;
- оперативное восстановление работоспособности системы при засоре или внутренних повреждениях;
- составление схемы трубопровода и установление его характеристик.

Для проведения телеинспекции сетей канализационных необходимо специальное техническое оснащение, позволяющее производить видеосъёмку, работая в специфических условиях.

Современные роботы оснащаются:

- системой определения заполнения трубы азотом;
- датчиком обратного хода;
- возможностью панорамной съёмки и автоматического сканирования на предмет обнаружения дефектов.

В зависимости от параметров трубопровода могут применяться следующие **виды теледиагностического оборудования**.

1 *Проталкивающее оборудование* – имеет вид камеры, закреплённой на жёстком прутке и управляемой вручную, применяется для незаполненных трубопроводов небольшого диаметра. Изображение транслируется на монитор оператора в режиме «онлайн».

2 *Сателлитные системы* – имеют разветвлённую конструкцию с несколькими камерами для исследования сложных трубопроводных узлов, подходят для частично заполненных коллекторов.

3 *Самоходные роботизированные системы* – незаменимы при инспектировании коллекторов большого диаметра, представляют собой автономное устройство с дистанционным управлением, оснащённое устройством записи и хранения данных с камер. Возможно самоходное и плавающее исполнение.

## **5.2 Реконструкция канализационных сетей**

### **5.2.1 Трубопроводы, применяемые при замене канализационных сетей**

Трубопроводы, предназначенные для отведения городских сточных вод, должны быть.

1 *Прочными* – стенки труб должны спокойно выдерживать нагрузку как от внутреннего давления, так и наружного. Непрочные изделия приводят к выходу из строя системы, что, в свою очередь, влечет дополнительные расходы на ремонт или замену трубопровода.

2 *Устойчивыми к воздействию внешней среды* – химические средства, высокая или наоборот низкая температура, ультрафиолетовое излучение, механические воздействия, огонь и т. п.



3 *С гладкой внутренней поверхностью* – сточные воды могут содержать мусор (бумага, остатки пищи и т. п.), который со временем может накапливаться на шероховатых стенках, образуя засор.

4 *Удобными при монтаже* – каждый из материалов, используемый при изготовлении труб, имеет свою специфику, оптимальным будет тот, который при сборке не создает проблем и позволяет просто и качественно произвести монтаж.

При замене трубопроводов в системах канализации в настоящее время применяются.

1 *Полиэтиленовые трубы* – используются для бестраншейной прокладки сетей канализации, обладают высокой стойкостью к агрессивным средам, легко монтируются и демонтируются, выпускаются в нескольких вариантах:

- гладкие;
- гофрированные – для прокладки наружных сетей канализации с высокой жесткостью и возможностью укладки на глубине до 20 м;
- напорные – для сетей канализации с максимальным диаметром 1200 мм;
- из полиэтилена низкого давления (ПЭНД) – для отведения сточных вод с особо агрессивными средами и химическими веществами.

2 *Полипропиленовые трубы* – просты в монтаже, обладают самым высоким сроком эксплуатации из всех материалов (более 50 лет) в любых средах и климатических условиях с сохранением первоначальной прочности.

Основная проблема всех действующих канализационных систем – это коррозия основных элементов конструкций (бетона и металла). Причиной коррозии служит воздействие агрессивной среды, выделение большого количества газов, в том числе метана и сероводорода.

Проблема защиты канализационных сетей от разрушения носит комплексный характер, поскольку требует решения широкого спектра взаимосвязанных задач:

- разработки критериев оценки состояния канализационных сетей и сооружений;
- оценки текущего состояния действующих сетей и сооружений;
- анализа современных технологий санации;
- разработки комплекса профилактических мероприятий, направленных на увеличение сроков безаварийной эксплуатации канализационных сетей;
- обеспечения таких темпов ремонтных работ, которые позволили бы в будущем произвести высококачественный ремонт поврежденных участков существующих сетей.

Согласно международной классификации, поврежденные трубопроводы подвергаются восстановлению путем нанесения на внутреннюю поверхность стенки трубопровода:

- сплошных набрызговых покрытий на основе цементно-песчаных растворов;

- сплошных покрытий в виде гибких полимерных рукавов (оболочек, мембран, рубашек) или труб из различных материалов;
- сплошных покрытий из отдельных элементов на основе листовых материалов (гибкого полиэтилена или стеклопластика);
- спиральных полимерных оболочек;
- точечных (местных) защитных покрытий.

Методы восстановления пропускной способности сетей канализации аналогичны методам, применяемым для сетей водоснабжения, которые детально описаны в подразд. 4.4.

### 5.2.2 Усиление неконструктивных схем

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

Определенный эффект может быть получен, если имеется возможность изменить точки присоединения крупных абонентов (кварталы селитебной территории, промышленные объекты) таким образом, чтобы разгрузить перегруженные и загрузить недогруженные линии. В случаях, когда такие присоединения нельзя выполнить путем прокладки самотечных трубопроводов, предусматривается установка канализационной насосной станции (рисунок 5.1). С целью разгрузки перегруженного коллектора бассейна канализования № 1 ликвидируется существующий выпуск 5 абонента 3 и сточные воды отводятся в коллектор бассейна № 2 по новому выпуску 6, для чего потребовалось строительство канализационной насосной станции 4.

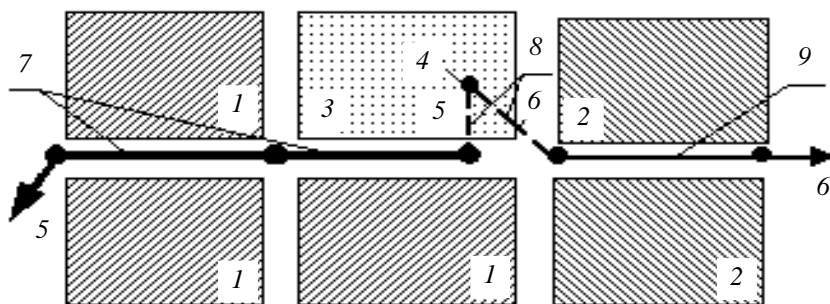


Рисунок 5.1 – Схема изменения места выпуска [9]:

1 – кварталы бассейна стока № 1; 2 – то же № 2; 3 – абонент (промпредприятие); 4 – канализационная насосная станция; 5 – существующий выпуск (ликвидируемый); 6 – новый выпуск; 7 – перегруженная линия; 8 – напорная линия; 9 – незагруженная линия

На рисунке 5.2 приведен фрагмент канализационной сети. Железная дорога делит территорию на два бассейна канализования. Один из участков коллектора, собирающего сточные воды первого бассейна, перегружен, в то время как вследствие неконструктивности сети коллектор второго бассейна не загружен.

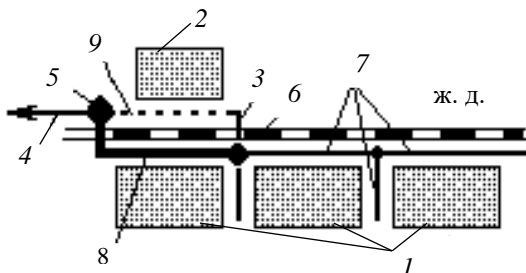


Рисунок 5.2 – Схема разгрузки участка коллектора [9]:  
 1 – кварталы бассейна стока № 1; 2 – то же № 2; 3 – напорная линия проектируемая; 4 – то же существующая; 5 – ГНС;  
 6 – КНС; 7 – самотечный коллектор; 8 – перегруженный; 9 – малозагруженный

Перегрузка устраняется переброской части сточных вод из коллектора первого бассейна в коллектор второго, в зависимости от условий, по самотечной или, как на рисунке 5.2, по напорной линии.

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

На рисунке 5.3 приведен вариант узла регулировки, включающего резервуар и насосную станцию. Сточные воды поступают в резервуар, откуда равномерно откачиваются с расходом, допустимым для коллектора, расположенного ниже. При необходимости резервуар может отключаться и сточные воды направляются непосредственно в нижний участок.

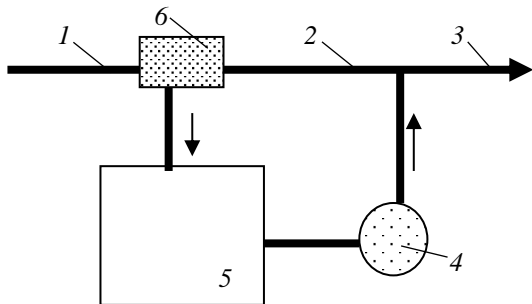


Рисунок 5.3 – Схема регулирующего узла:  
 1 – подводящий коллектор;  
 2 – отключаемый участок;  
 3 – разгруженный коллектор;  
 4 – канализационная насосная станция;  
 5 – регулирующий резервуар;  
 6 – камера переключения

**Пример.** Коллектор из керамических канализационных труб диаметром 600 мм проложен с уклоном 0,002. Пропускная способность коллектора при максимально допустимом наполнении (0,75) составляет 720 м<sup>3</sup>/ч. По результатам наблюдений суточный расход сточных вод составляет 15000 м<sup>3</sup>/сут, т. е. среднечасовой расход равен  $q_{mid} = 625$  м<sup>3</sup>/ч. Максимальный расход, наблюдаемый несколько раз в сутки, составляет  $q_{max} = 1000$  м<sup>3</sup>/ч. При этом

расходе происходит подтопление коллектора. Необходимо предусмотреть регулируемую емкость.

Максимальный коэффициент неравномерности

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

Подача насосов, откачивающих воду из резервуара, принимается равной пропускной способности коллектора:  $q_n = 720 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Тогда коэффициент неравномерности после регулирования

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

Вспомогательный коэффициент

$$\gamma_{gen} = \frac{K_{reg}}{K_{gen}} = \frac{1,15}{1,6} = 0,72.$$

Этому значению соответствует значение коэффициента  $\tau_{reg} = 2,60$ .

Вместимость регулирующей емкости

$$W_{reg} = \tau_{gen} q_{mid} = 2,6 \cdot 625 = 1625 \text{ м}^3.$$

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

Применение регулирующих резервуаров обычно выгоднее, чем строительство дополнительных разгружающих коллекторов. Особенно это справедливо для городов со сложными подземными коммуникациями и с напряженным движением транспорта.

Сложность эксплуатации регулирующих резервуаров заключается в необходимости предотвращения осаждения в них взвешенных веществ. С этой целью резервуары оборудуются перемешивающими устройствами разного типа: с барботажом воздуха, мешалками, системой рециркуляции воды при помощи насосов и другими.

Предотвратить осаждение примесей с большой гидравлической крупностью практически невозможно, и резервуары нуждаются в систематической очистке. Осадки, а также органика сточных вод подвергаются биохимическому разложению и в резервуаре выделяются газы, многие из которых токсичны, взрыво- и пожароопасны, обладают резким запахом (сероводород, аммиак и др.). Поэтому резервуары должны оборудоваться надежной и безопасной системой вентиляции. Пример установки фильтров-газопоглотителей приведен на рисунке 5.4.

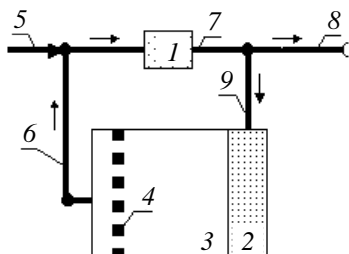


Рисунок 5.4 – Принципиальная схема узла «КНС – регулирующая емкость»:  
 1 – КНС; 2 – галерея задвижек; 3 – регулирующая емкость; 4 – газопоглотители; 5 – подающий коллектор; 6 – самотечная линия опорожнения; 7 – напорный коллектор; 8 – отводящий коллектор; 9 – напорная линия наполнения резервуара;

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

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

### 5.2.3 Реконструкция сетей канализации при постоянной гидравлической перегрузке

В случае постоянной гидравлической перегрузки канализационных сетей большинство трубопроводов имеет недостаточную пропускную способность, часть суток работает с подпором или с недопустимо большой степенью заполнения самотечных линий, а канализационные насосные станции не обеспечивают откачку сточных вод, что приводит к ее систематическим аварийным сбросам.

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

Сети малых диаметров (внутриквартальные, уличные) при реконструкции обычно перекаладываются, а крупные коллекторы разгружаются путем строительства дополнительных линий-дублеров.

Если существующий коллектор перегружен практически по всей длине, то часть абонентов присоединяется к коллектору-дублеру (рисунок 5.5).

При перегрузке низовых участков коллектора разгрузочная линия перехватывает сточные воды верховых участков. Транзитный участок такой разгрузочной линии в зависимости от конкретных условий выполняется самотечным или напорным. Напорный трубопровод оказывается меньшего диаметра, предоставляет большую возможность для выбора трассы, удобен по условиям производства строительных работ. С другой стороны, увеличиваются эксплуатационные расходы, так как возникает необходимость строительства и эксплуатации дополнительной канализационной насосной станции (рисунок 5.6).

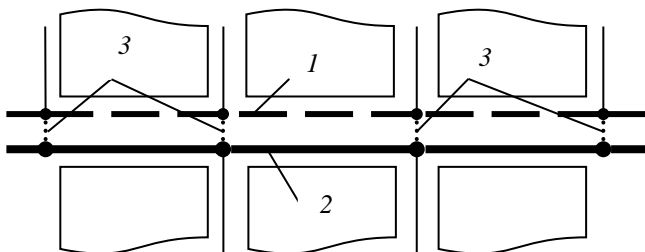


Рисунок 5.5 – Схема разгрузки коллектора:  
 1 – существующий коллектор; 2 – разгрузочный коллектор;  
 3 – ликвидируемый участок

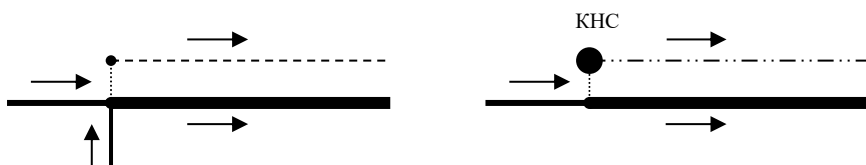


Рисунок 5.6 – Схема разгрузки коллектора:  
 ——— участок коллектора с нормальной загрузкой; ————— то же с перегрузкой;  
 - - - - - самотечная транзитная линия; — . . — то же напорная

В городах, подземное пространство которых насыщено коммуникациями и прокладка новых подземных трубопроводов сопряжена с большими трудностями, применимы разгрузочные каналы большого заглубления, сооружаемые методом щитовой проходки. Для приема сточных вод в канал глубокого заложения предусматриваются шахты, расположенные по его оси либо рядом с ним, причем шахта соединяется с каналом штольной. Шахта оборудуется приемной воронкой и вертикальным стояком, через которые поступают сточные воды из разгружаемых коллекторов. Для гашения избыточной энергии потока под стояком размещается водобойный колодец, из которого и происходит сводный излив в канал. Схема такой шахты приведена на рисунке 5.7, а. При направлении в коллектор глубокого заложения небольших расходов воды дорогостоящие шахты заменяются скважинами, но это решение вызывает сомнение, так как отсутствие водобойного колодца может привести к ускоренному разрушению канала (рисунок 5.7, б). Канал (коллектор) глубокого заложения способен принимать сточные воды и разгружать главные коллекторы нескольких бассейнов канализования, так как его высотное положение почти не зависит от рельефа местности.

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

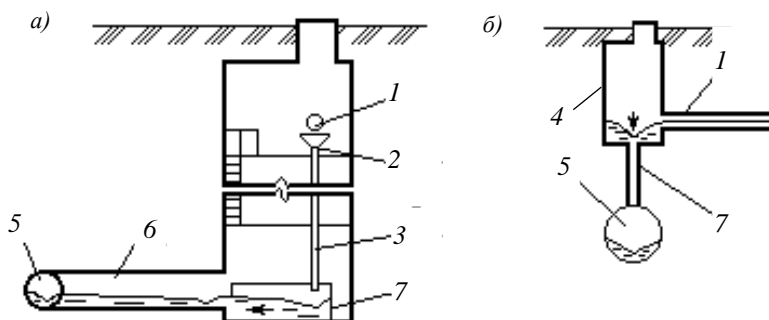


Рисунок 5.7 – Схемы присоединения сетей к коллекторам глубокого заложения [30]:

- 1 – от коллектора малого заложения; 2 – воронка; 3 – стояк;  
 4 – водобойный колодец; 5 – коллектор глубокого заложения; 6 – штольня;  
 7 – стояк (буровая скважина)

Альтернативу строительства разгрузочных коллекторов представляют регулировочные узлы с автоматическим регулирующим резервуаром, размещаемые перед перегруженными главными коллекторами и крупными канализационными насосными станциями, а также перед очистными сооружениями.

### 5.3 Реконструкция канализационных насосных станций

Необходимость в реконструкции канализационных насосных станций возникает вследствие:

- выхода из строя насосов;
- систематического переполнения сборной ёмкости;
- нарушения герметичности соединения трубопроводов;
- необходимости в более высокой пропускной способности трубопровода.

Результатом реконструкции должно являться:

- масштабирование системы – значительное увеличение производительности, возможность подключения только строящихся объектов к уже существующей системе канализации.
- повышение надёжности работы систем канализации;
- приведение эксплуатационных показателей в соответствие с нормативными требованиями;
- обеспечение последующей качественной очистки сточных вод;
- соблюдение экологической безопасности.

*Проект реконструкции канализационной насосной станции* может включать:

- установку системы плавного пуска насосных установок;

- замену старого насосного оборудования на более экономные и эффективные установки;
- установку систем электрозащиты насосного оборудования, в том числе и устройство механизмов частотного регулирования (преобразователи);
- замену запорной арматуры на трубопроводах (клапаны, задвижки) на автоматизированную, надежную и эффективную;
- установку потокопроводящего оборудования для предотвращения гидродаров;
- монтаж систем автоматизации контроля и управления как отдельных насосов, так и всей насосной станции в целом. С использованием щитов и шкафов управления, электронных контрольных жидкокристаллических панелей, электронных систем учета сточных вод и мониторинга состояния оборудования;
- подключение оборудования автоматизации к единому удаленному диспетчерскому центру;
- применение новых компоновочных решений для оптимизации размеров и работы насосной станции.

Компоновку насосов, трубопроводов и оборудования в любой насосной станции необходимо осуществлять таким образом, чтобы обеспечивалась надежность работы станции, удобство, простота и безопасность обслуживания агрегатов и узлов коммуникаций трубопроводов. Также необходимо предусматривать возможность расширения станции с наименьшими затратами средств.

## **5.4 Реконструкция устройств и сооружений на канализационных сетях**

### **5.4.1 Реконструкция канализационных колодцев**

Канализационные колодцы играют важную роль в обеспечении функционирования системы канализации, поскольку:

- обеспечивают доступ к коллекторам для проведения очистных или ремонтных работ;
- способствуют проветриванию канализационной сети, что снижает скорость коррозионных процессов, концентрацию токсичных и взрывоопасных газов;
- оказывают непосредственное влияние на гидравлические свойства системы канализации.

При плохой гидроизоляции канализационных колодцев существует опасность инфильтрации грунтовых и эксфильтрации сточных вод, что может привести к ускоренному разрушению колодцев, а также к нарушению бактериального равновесия в примыкающем очистном сооружении. Поэтому одной из главных задач предприятий, ответственных за эксплуатацию



канализационных сетей, является поддержание канализационных шахт в состоянии, близком к исходному. Решения этой задачи можно достичь за счет своевременного проведения:

- местного ремонта (устранение местных повреждений с использованием инъекционных методов и обеспечения нанесения местной гидроизоляции);
- реконструкции (восстановление исходных свойств колодцев за счет нанесения специальных покрытий или облицовки);
- нового строительства (сооружения нового колодца на месте существующего).

Выбор и обоснование возможности применения той или иной технологии санации канализационных колодцев зависят:

- от текущего состояния объекта и действующих нагрузок;
- технической возможности применения технологии;
- экономического эффекта, который может обеспечить выбранная технология ремонта (затраты, долговечность, сроки повторного ремонта).

Долговечность безаварийного функционирования канализационных колодцев во многом определяется выбором конструкционных материалов, использованных при их строительстве (наиболее часто при сооружении колодцев применяют бетон и кирпич), а также действующими в процессе эксплуатации нагрузками, в первую очередь воздействием сточных вод.

При оценке механических нагрузок, которым подвергаются канализационные колодцы, прежде всего, необходимо учитывать механический износ и кавитационную эрозию.

#### **5.4.2 Реконструкция выпусков сточных вод**

При *реконструкции выпусков* выполняются следующие мероприятия:

- замена материала трубопроводов выпусков и оголовков на полимерные, обладающие такими плюсами, как долговечность, устойчивость к агрессивным средам, износостойкость;
- замена конструкции оголовка на более современные варианты: оголовки с конфузорами, обеспечивающими лучше разбавление сточных вод на выпуске, оголовки с эжектирующей насадкой;
- использование габионов для укрепления оголовков водопропускных труб, что, по сравнению с монтажом бетонных бровок, требует меньших капитальных затрат и обладает длительным эксплуатационным сроком всей конструкции;
- изменение типа выпуска: с берегового на русловой, с сосредоточенного на рассеивающий, если на то есть основания и благоприятные условия;
- замена основания под оголовками под телом трубы;
- установка решеток для предотвращения попадания в трубопровод рыбы, если выпуск затопленный;

- нанесение на решетки и трубопроводы изнутри и снаружи специальных материалов, препятствующих обледенению и обрастанию;
- проведение мероприятий для предотвращения воздействия на оголовки ударов волн;
- перенос оголовка.

## **5.5 Предотвращение выделения запахов от сетей канализации**

Сточные воды обладают характерным запахом, который определяется летучими жирными кислотами, сероводородом, меркаптаном и др. Выделение запахов за пределами сооружений системы транспортировки сточных вод происходит через вентиляционные киоски (трубы) и неплотности люков, а также от снегосплавных пунктов и с вентиляционными выбросами КНС. Наиболее интенсивное выделение запахов происходит в местах перепадных колодцев и разгрузки напорных трубопроводов в коллектор.

В общесплавных сетях каждый ливнесток является потенциальным источником выделения запахов, в отдельных системах этой проблемы с ливнесточками нет.

В ряде случаев пытаются решить проблему запахов ликвидацией вентиляционных киосков на сети и засыпкой колодцев. Однако такие действия не допустимы, т. к. запахи – лишь внешняя сторона более существенной проблемы сероводородной коррозии коллекторов и каналов. Чем лучше воздухообмен в каналах – тем медленнее развивается коррозия, и наоборот.

В результате практически двукратного падения водопотребления время нахождения сточных вод в коллекторах существенно возросло и увеличилось количество отложений. Это интенсифицировало образование и выделение неприятных запахов.

В современных условиях стоит задача осуществить одновременно хорошую вентиляцию сетей и сооружений для обеспечения их нормативного срока службы и не допустить дискомфорта населения в местах локализации вентвыбросов. Методы удаления неприятных запахов из системы канализации приведены в таблице 5.1.

*Таблица 5.1 – Методы удаления неприятных запахов [14]*

Характеристика метода	Преимущества	Недостатки
<i>Дозирование химических реагентов в сточную воду</i>		
В сточную воду добавляются реагенты, окисляющие сероводород и снижающие скорость его дальнейшего выделения	Не требует сооружений на сетях	Высокие затраты на реагенты. Метод находит ограниченное применение (только в странах ЕС)

Окончание таблицы 5.1

Характеристика метода	Преимущества	Недостатки
<i>Сорбционные и биосорбционные фильтры</i>		
<p>Пластмассовая конструкция, заполненная сорбирующим материалом (ГАУ), либо загрузкой для развития бактерий, окисляющих загрязнения в выбросах (обработанная кора, торф и т. п.), либо их смесь. Над фильтром размещена крышка с отверстиями</p>	<p>Размещаются в колодцах, не требуя изменения их конструкции. Могут работать в течении нескольких лет, потом требуется замена загрузки</p>	<p>Риск нарушения проницаемости в результате роста биопленки и накопления конденсата, особенно при его замерзании в зимнее время. Данных последствий можно избежать, применяя конструкции, созданные с учетом потенциальной проблемы</p>
<i>Дезодорирующие вставки</i>		
<p>Внутри колодца размещается вставка с гелем, содержащим окисляющие вещества с запахом</p>	<p>Эффективность не зависит от обмерзания, накопления конденсата и др. факторов. Интенсивность выделения веществ из вставки увеличивается при увеличении температуры</p>	<p>Необходимость замены дезодорирующих вставок через несколько месяцев</p>
<i>Фильтры на вытяжках на сети</i>		
<p>Конструкция из пластика или нержавеющей стали, заполненная гранулированным активным углем (ГАУ) или загрузкой биофильтра. Может быть в надземном или наземном исполнении</p>	<p>Могут быть хорошо адаптированы к городскому пространству и размещены в многолюдных местах. Могут работать в течении нескольких лет, потом требуется замена загрузки</p>	<p>Риск нарушения проницаемости в результате роста биопленки и накопления конденсата, особенно при его замерзании в зимнее время. Данных последствий можно избежать, применяя конструкции, созданные с учетом потенциальной проблемы</p>
<i>Очистка выбросов от открытых поверхностей снегославных пунктов</i>		
<p>Опрыскивание периметра сооружения веществами, окисляющими на воздухе выделяющиеся загрязнения (альдегиды и кетоны природного происхождения и идентичные им)</p>	<p>Не требует значительных капитальных вложений. Может использоваться только при неблагоприятном направлении ветра</p>	<p>Затраты на специфические реагенты, не производимые в России. Применение может вызывать аллергические реакции</p>

## **6 РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

### **6.1 Обследование и анализ работы очистных сооружений**

При разработке предложений по реконструкции очистных сооружений вначале устанавливаются причины их неудовлетворительной, проводится обследование конструкций и анализ работы очистных сооружений при пропуске фактического расхода.

#### **6.1.1 Причины неудовлетворительной работы очистных сооружений**

**1 Несоответствие принятой технологии очистки количеству, составу и свойствам сточных вод.** Неправильное определение расчетных расходов, состава и концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, ошибки в выборе технологической схемы, расчетных параметров и типов сооружений приводят к тому, что введенные в действие новые очистные сооружения со временем оказываются нерасчетоспособными.

Часто причиной низкой эффективности очистки сточных вод является наличие в смеси сточных вод, поступающих на очистные сооружения, значительной части специфических промышленных сточных вод, которые не учитываются при расчете сооружений биологической очистки. 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.

В последнее время одной из основных причин неудовлетворительной работы биологических сооружений малых населённых пунктов является низкое содержание органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, выраженное показателем БПК<sub>5</sub>.

На средних и крупных очистных сооружениях отмечаются повышенные концентрации общего азота в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Аэротенки, работающие как вытеснители или смесители, не справляются с нагрузкой по биогенным элементам и нуждаются в реконструкции.

**2 Превышение проектной производительности очистных сооружений.** *Производительность* сооружений характеризуется двумя главными расчетными параметрами:

- расходом сточных вод;

– количеством загрязнений, которые могут быть удалены на очистных сооружениях.

*Превышение проектной производительности* очистной станции отрицательно сказывается на работе всех сооружений, которые входят в технологическую схему, но ухудшение работы отдельных сооружений по-разному влияет на конечный эффект очистки, который обычно оценивается концентрацией взвешенных веществ, величиной БПК<sub>5</sub>, ХПК, концентрацией азота общего и фосфора общего в очищенных сточных водах.

Увеличение скоростей движения воды в прозорах решеток и песколовках может вызвать 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* считаются наиболее слабым звеном в технологической цепочке практически всех существующих систем биологической очистки сточных вод. На всех типах отстойников резко снижается 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 эти сооружения по органическим загрязнениям, которые находятся в грубодисперсной и коллоидной формах. При подаче недостаточно осветленных сточных вод возникает серьезная опасность *заиления 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* (количеством загрязнений по БПК<sub>5</sub>, 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 в случаях, когда перегрузка по загрязнениям и расходу происходит одновременно.

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, к уменьшению их окислительной мощности.

**3 Неравномерность поступления сточных вод** 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;
- 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.
- переохлаждению воды в зимний период;
- заиливанию подводящих каналов;
- осаждению органических примесей в песколовках и т. п.

*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 загрязняющих веществ в составе 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 сточных вод.

**4 Наличие в сточных водах разных токсичных примесей, которые пагубно влияют на биохимические процессы.** Главным средством защиты очистных сооружений от влияния токсичных примесей является их удаление из сточных вод на локальных очистных сооружениях промышленных предприятий. Не все действующие в настоящее время предприятия имеют такие сооружения, а их строительство связано со значительными капитальными затратами. 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** приводит к ухудшению физических и биохимических свойств активного ила и биопленки, тормозит рост микроорганизмов и весь процесс биохимического окисления органических веществ.

Продолжительный недостаток азота 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.

Концентрации биогенных элементов в городских сточных водах обычно достаточны для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенках и биофильтрах. Но 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 песколовков и первичных отстойников из-за выпадения в осадок крупных примесей, которые могут засорить гидроэлеваторы и трубопроводы для транспортирования осадков.

Конструктивные *недостатки и нарушения режимов эксплуатации песколовков* приводят к повышенному выносу песка и других тяжелых минеральных примесей в первичные отстойники, что затрудняет удаление, транспортирование и последующую обработку осадков.

К основным *причинам повышенного выноса песка из песколовков*, даже при нормативных нагрузках, относятся:

– гидравлические возмущения потока воды, вызванные трубопроводами гидроэлеваторов, песковыми прямыми, которые размещены по всей длине горизонтальной песколовки, резкими изменениями направления и поперечного сечения каналов на входе и выходе из песколовков;

– неодинаковое распределение расходов сточных вод по участкам песколовки;

– несвоевременное и неполное удаление осадка, обусловленное недостаточным наклоном стенок песочных приемков, плохой работой гидроэлеватора вследствие засорения или смещения оси сопла относительно оси диффузора, нарушениями графика удаления осадка;

– 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.

К *причинам неравномерного распределения сточных вод по ширине горизонтального отстойника* можно отнести:

– нарушение целостности и горизонтальности водослива распределительного лотка;

– подтоплению водослива со стороны отстойной зоны.

*Неравномерность распределения сточных вод по глубине* сооружения может быть вызвана недостаточным или неодинаковым по ширине отстойника заглублением полупогруженной 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.

К *причинам неравномерного распределения сточных вод по площади вертикального отстойника* относятся:

– отклонение от нормативных размеров раструба центральной трубы и отбивного щита;

– нарушение размещения центральной трубы и отбивного щита 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 несоблюдении 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 оборудованы механическими скребковыми устройствами, имеют недостаточные уклоны дна и стенок иловых приямков. 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.

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 приямках и трубопроводах.

В иловых приямках 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 приямков ближе к выходу из отстойника, что сокращает размеры зоны отстаивания, увеличивает скорость движения потока и в результате снижает эффект осветления сточных вод.

К *недостаткам*, которые ухудшают работу аэротенков, относится неравномерность распределения воздуха по длине и поперечному сечению аэротенка вследствие разной воздухопроницаемости аэраторов, их засорения и разрушения существенно снижают степень использования кислорода, который содержится в подаваемом воздухе.

*Причинами* неудовлетворительной работы аэротенков с механической аэрацией чаще всего являются выходы из строя редукторов, подшипников, ведущих звездочек цепных передач, электродвигателей аэраторов.

Недостаточная интенсивность перемешивания иловой смеси в зоне неработающих механических аэраторов вызывает выпадение активного ила в осадок в границах этой зоны.

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 выносится 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*. Вспухший ил плохо отделяется от очищенной воды и выносится из вторичных отстойников.

Вспухание ила может происходить по следующим причинам:

- 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 рН 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 несортного материала может происходить заблачивание поверхности загрузки биофильтра.

Для своевременного удаления из загрузки отработанной биопленки гидравлическая нагрузка не должна 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 150 мг/л. Быстрое заиливание капельных биофильтров происходит при перегрузке их по БПК. Предельная величина БПК<sub>5</sub> сточных вод, которые поступают на капельный биофильтр, составляет 150 мг/л, поэтому при большем значении БПК<sub>5</sub> 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 нагрузки*, 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 участкам, 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 загнивает и выносятся из отстойников.

Главные причины нарушения нормальной работы очистной станции:

- перемены в энергоснабжении;
- несоблюдение сроков планово-предупредительного (текущего и капитального) ремонта сооружений и оборудования, нарушения обслуживающим персоналом правил технической эксплуатации сооружений.

Из-за перебоев 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 песколовок и первичных отстойников, оборудованных скребковыми механизмами и насосами для удаления осадка.

Таким образом, общее состояние и эффективность работы очистных сооружений 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 очистных сооружениях возникают ситуации, при которых эксплуатационный персонал идет на серьезные нарушения технологических режимов очистки сточных вод.

При неудовлетворительной работе песковых площадок реже удаляется осадок из песколовок, что приводит к выносу песка в первичные отстойники. Затруднения с обработкой сырого осадка приводят к увеличению 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 обезвоживания сброженных или аэробностабилизированных осадков к нарушению технологического режима их работы.

Отсутствие на очистных сооружениях надежной технологии обработки изъятых песка представляется экологически опасной потому, что на станциях накапливается большое количество песчаной массы с избыточным содержанием органических загрязнений.

### **6.1.2 Анализ работы очистных сооружений**

При выявлении недостаточной эффективности работы очистных сооружений необходимо найти обуславливающие причины. Для этого проводится 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, работниками 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:

- фактические расходы сточных вод;
- состав и концентрации загрязнений;
- режим их поступления.

Для получения действительной картины гидравлического режима работы станции *замер расходов сточных вод* осуществляется на всех этапах очистки: на входе, до и после одноименной группы сооружений, а в ряде случаев замеряется распределение расходов расходов между отдельными сооружениями.

По результатам замеров строятся суточные графики поступления сточных вод на очистные сооружения и отдельные блоки для характерных периодов работы станции. Целесообразно строить такие графики в течение года. По ним определяются расчетные расходы и коэффициенты неравномерности.

Для оценки работы как всего комплекса, так и отдельных очистных сооружений определяются *состав и концентрации загрязнений* в характерных точках (до и после сооружений) по БПК<sub>5</sub>, ХПК, концентрации взвешенных веществ, специфических загрязнений, биогенных элементов, рН и др. Максимальные, минимальные и средние концентрации загрязнений, а также их колебания в течение суток являются основой для оценки целесообразности использования и расчета усреднителей.

Эффективность работы каждого сооружения 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.

При проведении анализа работы действующих **аэротенков** определяются технологические параметры их работы:

- доза активного ила;
- нагрузка на активный ил;
- объемная нагрузка;
- окислительная мощность;
- иловый индекс;
- расходы воздуха на 1 кг извлеченного БПК<sub>5</sub>.

*Доза активного ила*  $a_i$  – концентрация активного ила в аэротенке, т. е. количество активного ила в единице объема иловой смеси. Выражается в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м<sup>3</sup> иловой смеси.

*Нагрузка на активный ил* – количество поступающих со сточной водой загрязнений в миллиграммах или граммах загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

Нагрузка на активный ил по БПК<sub>5</sub>, мг БПК<sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества ила в сутки

$$q_i = \frac{24L_{en}}{a_i(1-s)t_{ai}}, \quad (6.1)$$

где  $L_{en}$  – концентрация БПК<sub>5</sub> поступающей в аэротенки сточной воды (с учетом снижения при первичном отстаивании), мг/дм<sup>3</sup>;

$a_i$  – доза ила, выражаемая в г/л, если БПК<sub>5</sub> выражена в мг/л или в г/м<sup>3</sup>;

$s$  – зольность ила, доли единицы;

$t_{ai}$  – длительность пребывания сточных вод в аэрационном сооружении.

*Объемная нагрузка* вычисляется в килограммах БПК<sub>5</sub>, которое приходится за сутки на 1 м<sup>3</sup> реакционного объема аэротенка.

*Удельная скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды* (скорость очистки) – отношение снятой БПК<sub>5</sub> к массе ила и длительности аэрации, в миллиграммах или граммах БПК<sub>5</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч

$$\rho_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{ai}}, \quad (6.2)$$

где  $L_{ex}$  – концентрация БПК<sub>5</sub> в сточных водах после аэротенка, мг/л или г/м<sup>3</sup>.

Разница между поступающей в аэротенк концентрацией БПК<sub>5</sub> и выходящей из него называется снятой БПК<sub>5</sub>.

*Окислительная мощность* – количество загрязнений, снимаемых в единицу времени массой активного ила, находящейся в единице объема иловой смеси

$$OM = 24a_i(1-s)\rho_i. \quad (6.3)$$

Окислительная мощность имеет важное значение для оценки работы аэрационных сооружений. Чем больше доза ила, тем выше окислительная мощность. Увеличение дозы ила и, соответственно, увеличение окислительной мощности без ущерба для степени очистки является одним из наиболее изучаемых направлений интенсификации работы аэротенков.

*Иловый индекс J* характеризует степень осаждаемости активного ила, представляет собой объем, который занимает один грамм сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси.

При определении технологических параметров за расчетные величины БПК<sub>5</sub> принимаются 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.

*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 [34] и комплексная оценка этих параметров позволяют правильно оценить ситуацию и наметить возможные пути интенсификации процесса биологической очистки.

Главными характеристиками **биологических фильтров** являются гидравлическая и объемная нагрузки.

*Гидравлическая нагрузка* выражается количеством воды ( $\text{м}^3$ ), которая приходится на  $1 \text{ м}^2$  площади биофильтра за сутки.

*Объемная нагрузка* – количество загрязнений, оцениваемое величиной БПК<sub>5</sub>, которая подается на  $1 \text{ м}^3$  объема загрузки за сутки.

Допустимые значения нагрузок биофильтров разных типов приведены в таблицах 3.2 и 3.4 [23].

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** начинается с определения расчетных расходов осадков, которые удаляются из песколовок 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 уделяется тем технологическим параметрам, которые могут оказывать решающее влияние на работу данного сооружения.

В *осадке из песколовок* определяется содержание органических примесей, которые ухудшают его фильтрационные качества. Во время обследования самих песковых площадок обращается внимание на состояние дренажной системы, наличие устройств для поверхностного отвода воды.

На эффективность работы *илоуплотнителей* значительно влияют иловый индекс и концентрация ила, 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 и состав образующегося газа;
- активная реакция иловой воды (рН и щелочность) и концентрация в ней летучих жирных кислот и аммонийного азота;
- наличие и концентрация в осадках токсичных компонентов.

Эффективность работы *аэробных стабилизаторов* характеризуют следующие параметры:

- степень распада органического вещества;
- зольность вещества осадка;
- дегидрогеназная активность;
- скорость потребления кислорода стабилизированным осадком;
- удельное сопротивление осадков фильтрации.

Важнейшими характеристиками осадков, которые подаются на *иловые площадки*, являются:

- степень сбраживания;
- удельное сопротивление фильтрации.

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.

## **6.2 Реконструкция и интенсификация работы сооружений механической очистки**

### **6.2.1 Решетки**

Решетки являются первым элементом всех технологических схем очистки сточных вод. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками и предназначены для задержания содержащихся в сточных водах отбросов, которые являются отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности (остатки пищи, упаковочные материалы, бумага, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные, волокнистые материалы).



Опыт эксплуатации решеток на очистных сооружениях, где смонтированы решетки с прозорами 16 мм, свидетельствует о низком эффекте улавливания из сточных вод крупных загрязнений.

Попадание крупных взвешенных веществ в осадок песколовков приводит к повышенному содержанию в осадке органических веществ, а следовательно, к более быстрому загниванию этого осадка на песковых площадках. Кроме того, наличие крупных взвешенных веществ в осадке песколовков приводит к быстрому засорению гидроэлеваторов.

В процессе транспортирования по канализационным сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры, а образующийся на поверхности отбросов слой органических и других загрязнений способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц, что приводит к формированию многокомпонентных крупноразмерных органоминеральных составляющих отбросов. Осредненная плотность органоминеральных составляющих близка к плотности воды, что облегчает последующий перенос песка на крупноразмерных частицах через решетки и песколовки. Песок выпадает в осадок в первичных отстойниках, что затрудняет выгрузку осевшего осадка, его перекачку по илопроводам и выгрузку сброженного осадка из метантенков. Легкие плавающие отбросы, проходя через отстойники, усложняют работу сооружений доочистки или выносятся с очищенными сточными водами в водные объекты, что является недопустимым.

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

Улучшить работу решеток можно путем замены устаревшего типа решеток новым, более совершенным типом и строгим соблюдением 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 путем расширения каналов до и после решеток. Когда это невозможно – устраивается дополнительный канал с решеткой.

Для задержания на решетках большего количества отбросов применяются решетки с прозорами 6 мм и меньше (до 2 мм), что обеспечивает снижение нагрузки на первичные отстойники и более полное сбраживание сырого осадка.

Наиболее распространенными в мировой практике решетками тонкой очистки являются ступенчатые, ленточные и барабанные (шнековые), особенности работы и конструктивное исполнение которых рассматриваются в рамках дисциплины «Технология очистки сточных вод» [23].

Среди примесей, задержанных на решетках с меньшими прозорами, или на процеживателях, большой процент составляют вещества органического происхождения, которые способны к загниванию. 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.

При необходимости предусматривается обезвоживание, промывка, измельчение отбросов для последующей совместной обработки с осадками сточных вод или сбор отбросов в контейнеры с герметичными крышками с последующим их удалением в соответствии с требованиями законодательства по обращению с отходами. Применение шнековых прессов для уплотнения и снижения влажности изъятых грубодисперсных примесей до 60–69 % позволит уменьшить их объем в 2,5–3 раза.

### **6.2.2 Песколовки**

С потоком сточной воды на очистные сооружения поступает большое количество механических примесей, преимущественно в виде минеральных веществ. Минеральные вещества сами по себе не опасны в санитарном отношении для водного объекта, однако транспортировать их до него через все сооружения нецелесообразно. Попаданию песка расчётной гидравлической крупности в осадок первичных отстойников способствуют режимы работы песколовок с повышенными скоростями движения в них сточных вод. При этом истираются металлические части ферм при сборе осадка, содержащего песок, обтачиваются колёса центробежных насосов, а следовательно, изменяются характеристики насосного оборудования, часто засоряются трубопроводы. Если такой осадок подаётся в стабилизаторы, то сокращается рабочая зона этих сооружений, а следовательно, изменяются технологические параметры их эксплуатации, снижается их производительность. Например, в типовых метантенках осадки «закисают», «вскипают», и это приводит к необратимым последствиям – разгерметизации ёмкостей метантанков [18]. Такие сооружения не подлежат ремонту.

Если осадок с высоким содержанием песка подаётся на центрифуги, то также изменяются технологические параметры аппаратов за счёт истирания движущихся частей [18].

Применение песколовок, то есть отдельная очистка сточных вод от минеральных и органических примесей, обусловлено тем, что при совместном их выделении в отстойниках возникают значительные затруднения при удалении осадка из отстойников и дальнейшей его обработке.

Песколовки представляют собой сооружения непрерывного действия, рассчитанные таким образом, чтобы в них выпадал и песок, и другие тяжелые минеральные частицы, но не выпадал легкий осадок органического происхождения. По нормам в песколовках должен задерживаться песок с гидравлической крупностью (скоростью выпадения) 18,7–24,2 мм/с с обеспечением выпадения его не менее 65 % от содержащегося в сточных водах [34].

Песколовки подразделяются по направлению движения воды на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости (на тангенциальные и аэрируемые), конструктивные особенности, принцип работы, преимущества и недостатки детально рассмотрены в п. 2.2 [23].

Из всего количества песка, который содержится в сточных водах, в песколовках осаждается 60–70 %. Основное количество песка, который транзитом проходит в первичные отстойники или сооружения биологической очистки, приходится на мелкие фракции (меньше 0,25 мм). Фракционный состав песка, который содержится в сточных водах, приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Фракционный состав песка, содержащегося в сточных водах

Диаметр частиц песка, мм	более 1,0	0,5–1,0	0,25–0,50	менее 0,25
Состав песка в % (по весу)	5,4	11,8	34,4	48,4

Повышение эффективности задержания песка может быть достигнуто стабилизацией скорости потока.

В *горизонтальных песколовках* стабилизация скорости потока может быть обеспечена:

- с помощью специальных водосливов;
- за счет улучшения работы системы удаления осадка;
- путем установки продольных перегородок.

Для интенсификации работы *аэрируемой песколовки* ее рабочая зона разделяется вертикальными перегородками на ряд последовательно соединенных камер (рисунок 6.1).

Перегородки могут быть:

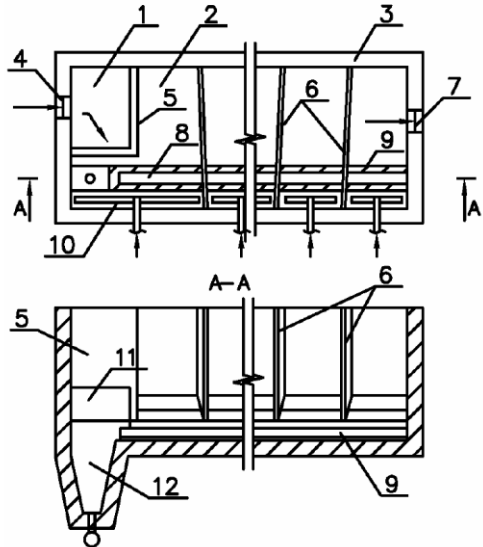
- сплошными, не доходящими до дна резервуара на 0,2–0,3 м его глубины и к продольной стенке с аэраторами 0,25–0,3 м его ширины;
- в виде плоских решеток, которые устанавливаются на всю глубину и ширину рабочей зоны, при этом первая перегородка по ходу движения воды размещается под острым углом к продольной 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 [30].

Рисунок 6.1 – Аэрируемая песколовка

- с поперечными перегородками:  
 1 – входная камера; 2 – рабочая зона;  
 3 – стенка песколовки; 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 приемок



В горизонтальной песколовке с круговым движением воды повышение эффекта задержания песка и увеличение ее производительности может быть обеспечено за счет устройства в круговом лотке, кроме аэраторов, плоских вертикальных решеток, которые разделяют лоток на ряд секций (рисунок 6.2). Каждая секция имеет свой аэратор, а отношение длины секций к длине кругового лотка составляет  $(0,2-0,5):1$ .

Для интенсификации задержания песка целесообразным является использование объема центральной части песколовки. Для этого в центре песколовки устанавливается вертикальная телескопическая 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 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. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды после реконструкции обеспечивает надежное задержание песка крупностью  $0,15$  мм и больше. При этом значительно увеличивается зольность осадка благодаря интенсивной отмывки его от органических загрязнений [30].

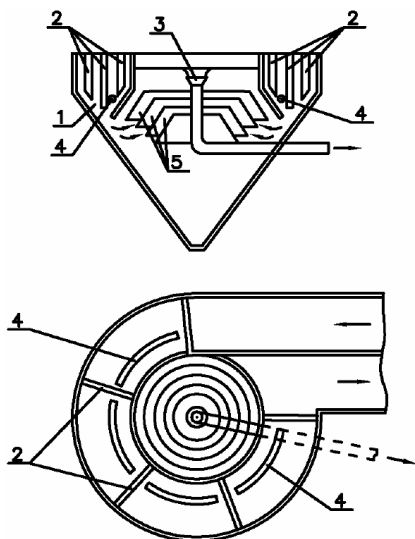


Рисунок 6.2 – Модернизированная песколовка с круговым движением воды:  
 1 – круговой лоток; 2 – плоская вертикальная решетка; 3 – переливная труба; 4 – аэратор; 5 – конические перегородки

Несмотря на то, что гидромеханическая система удаления осадка является более эффективной в сравнении с цепными и тележечными механизмами, ее эксплуатация показала ненадежность, выражающуюся в систематическом засорении sprысков и накоплении песка на днище лотка в виде валиков.

Гидроэлеваторы, предназначенные для откачки пескового осадка, из-за абразивного износа сопла и горловины периодически выходят из строя.

При реконструкции выгрузку пескопульты вместо гидроэлеватора можно производить грунтовым насосом типа, имеющим более высокий КПД (48–50 %) по сравнению с гидроэлеватором (15–20 %). Забор осадка из каждой песколовки к насосу производится подъемным оголовком, соединенным с всасывающей трубой насоса через шарнир, что позволяет осмотреть и очистить всасывающее отверстие оголовка, не опорожня песколовки [32].

Кроме широко известных конструкций аэрированных песколовочек в виде горизонтальных резервуаров прямоугольной формы, довольно перспективным может быть использование *аэрированной песколовки с круговым движением воды*, конструкция которой приведена на рисунке 6.3. 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 0,15 мм.

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

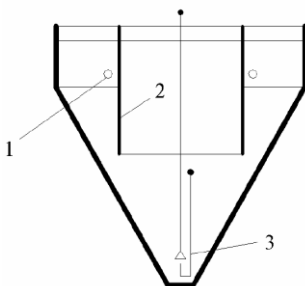


Рисунок 6.3 – Аэрируемая песколовка с круговым движением воды:  
 1 – аэратор; 2 – кольцевая перегородка; 3 – гидроэлеватор

Собранный в песколовках песок в существующих технологических схемах направляется на обезвоживание или в песковые бункера, или на песковые площадки. Даже с аэрированных песколовков удаленный осадок 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.

Для обработки осадка песколовков может быть принята технологическая схема, разработанная Московским государственным строительным университетом (рисунок 6.4).

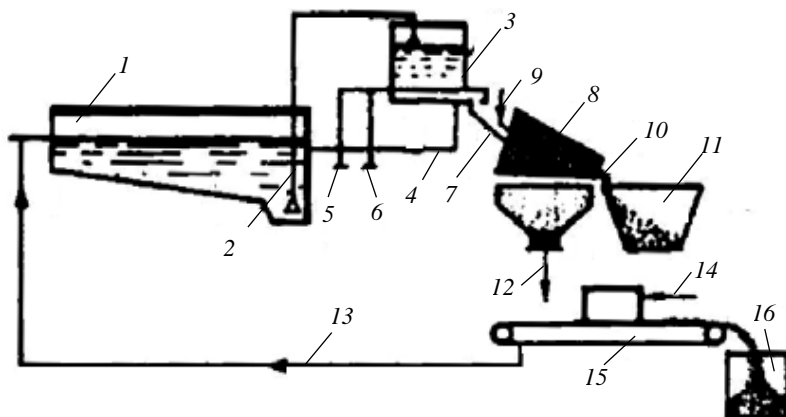


Рисунок 6.4 – Схема узла по обработке осадка из песколовков:

- 1 – песколовка; 2 – гидроэлеватор; 3 – пескопромывающее устройство; 4 – возврат воды;
- 5 – промывная вода; 6 – воздух; 7 – осадок в барабанном сепараторе; 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

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.

### 6.2.3 Первичные отстойники

В первичных отстойниках обычно задерживается 40–50 % взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах. Вместе с тем при экономном режиме водопотребления, который характеризуется концентрацией взвешенных веществ, поступающих на очистные сооружения 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 влагоотдачу 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 %.

Также *причинами* низкой эффективности работы первичных отстойников могут быть:

- несвоевременный сбор и удаление осадка, приводящее к загниванию осадка и вторичному загрязнению сточных вод продуктами распада органических веществ;

- отсутствие корректировок в графике удаления осадка при изменении технологического процесса, например, при отключении части отстойников на ремонт и т. п.;

- низкий коэффициент объемного использования за счёт несовершенства конструкции;

- высокие скорости вращения фермы со скребковым механизмом;

- неэффективность сбора плавающих веществ и жира с поверхности, что приводит к повышению нагрузок на сооружения биологической очистки и удорожает их эксплуатацию, а также изменяет характеристики осадка, поступающего на сооружения обработки осадка (от влажности осадка зависит доза загрузки в метантенках, нагрузка на сооружения аэробной стабилизации и иловые площадки) [18].

Для интенсификации процессов отстаивания и уплотнения образующихся осадков могут применяться различные методы (рисунок 6.5).

*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 приямков, что существенно улучшает условия удаления осадка и работу отстойников в целом. Горизонтальные отстойники, которые не имеют скребковых механизмов по возможности должны быть ими оборудованы [30].



Рисунок 6.5 – Методы интенсификации работы отстойников

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 оборудованы вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники (рисунок 6.6).

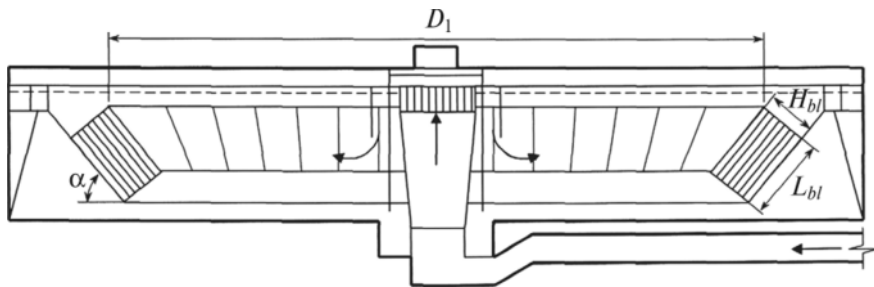


Рисунок 6.6 – Радиальный отстойник с тонкослойными блоками:  
 $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонту, равный 45–60°;  $L_{bl}$  – длина пластин в ярусе;  
 $D_1$  – диаметр расположения блока;  $H_{bl}$  – высота тонкослойного блока

Расчетные параметры тонкослойных отстойников определяются в зависимости от характера обрабатываемых сточных вод и заданного эффекта осветления.

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 состоянии покоя. Наличие таких кривых позволит 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 получила распространение *предварительная аэрация* сточных вод, обеспечивающая флокуляцию тонкодисперсных примесей и увеличение скорости их осаждения. Вместе с этим происходит некоторое снижение БПК<sub>5</sub> 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 в специальных сооружениях – преаэраторах, размещенных перед отстойниками. Продолжительность аэрации составляет 10–20 мин, удельный расход воздуха – 0,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. 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.

Несмотря на то, что 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).

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-экономическое обоснование.

К *преимуществам* использования реагентов на стадии предварительной очистки относятся:

- увеличение эффекта осветления сточных вод;
- удаление значительной части коллоидных и растворимых загрязнений, в том числе таких трудноокисляемых, как нефтепродукты, красители, ПАВ и др.;
- снижение концентраций ионов тяжелых металлов и соединений фосфора;
- улучшение работы сооружений биологической очистки за счет снижения БПК<sub>5</sub> и ХПК, концентраций взвешенных веществ и токсичных примесей, которое достигается при реагентной обработке.

Существенными *недостатками* реагентной обработки сточных вод является:

- использование дефицитных реагентов;
- строительство реагентного хозяйства;
- существенное увеличение количества создаваемых осадков как по сухому веществу, так и по объему.

Решение об использовании реагентов для интенсификации очистки сточных вод на действующих сооружениях должно приниматься на основании всестороннего анализа ситуации.

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) взвешенных частиц городских сточных вод осуществляется под действием перемешивания даже без использования реагентов. Это объясняется тем, что указанная категория взвешенных частиц обладает некоторыми флокуляционными свойствами. Максимальная эффективность осветления сточных вод достигается при продолжительности флокуляционного перемешивания 300–600 с при градиенте скорости 60 с<sup>-1</sup>. Это позволяет достичь ускорения осаждения взвешенных веществ приблизительно на 20 %. При этом эффективность отстаивания сточной воды повышается с увеличением концентрации взвешенных веществ в обрабатываемой сточной воде.

Для первичного осветления сточных вод наряду с отстаиванием возможно использование других перспективных методов, одним из которых является *флотация*, которая приобрела широкое распространение для обработки производственных сточных вод. При биологической очистке хозяйственно-

бытовых сточных вод и их смесей с производственными сточными водами флотация может использоваться для первичного осветления вместо первичных отстойников или совместно с ними.

*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<sub>5</sub> сточных вод, но необходимо учитывать, что много флотореагентов могут отрицательно повлиять на дальнейшую биологическую очистку и качество очищенных 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 городских сточных вод, которые содержат такие загрязнения, является особенно эффективным.

К *преимуществам* флотационного осветления сточных вод можно отнести следующее.

1 Продолжительность процесса не превышает обычно 30 мин, в то время как продолжительность отстаивания их в первичных отстойниках составляет не менее 1,5–2 ч.

2 Флотация с использованием воздуха обеспечивает, кроме того, интенсивную аэрацию сточных вод.

3 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.

4 Практически во всех видах сточных вод есть ПАВ, которые широко используются в промышленности и быту. 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.

Способ предварительного осветления сточных вод напорной флотацией совместно с биокоагуляцией загрязнений активным илом состоит в следующем. В сточные воды после их обработки на решетках и песколовках вводится избыточный активный ил, а образованная смесь осветляется флотацией. Процесс осветления может осуществляться с использованием разных технологических схем напорной флотации (рисунок 6.7):

– с прямым насыщением воздухом осветленной воды (прямоточная схема);

- насыщением воздухом части потока сточных вод (схема с распределением потоков);
- рециркуляцией рабочей жидкости.

Насыщение жидкости воздухом можно осуществлять с помощью:

- эжектора, который устанавливается обычно на переключении между напорной и всасывающей линиями насоса;
- компрессора, который нагнетает воздух в напорный бак той или иной конструкции.

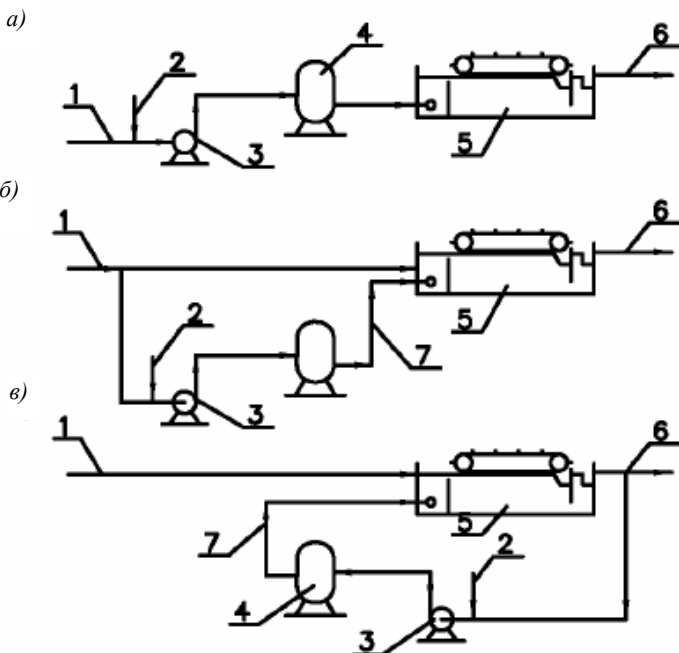


Рисунок 6.7 – Технологические схемы напорной флотации [30]:

- a* – прямоточная схема; *б* – с разделением потоков; *в* – с рециркуляцией рабочей жидкости;  
 1 – подача неочищенных сточных вод; 2 – подача воздуха; 3 – насос; 4 – напорный бак;  
 5 – флотационная камера; 6 – отвод очищенной сточной воды; 7 – подача воды, насыщенной воздухом

Использование флотационных биокоагуляторов *позволяет*:

- сократить продолжительность первичного отстаивания сточных вод до 30–40 мин, существенно снизить БПК<sub>5</sub> сточных вод и тем самым уменьшить 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<sub>5</sub> во флотационных биокоагуляторах происходит 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.

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.

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 необходимо 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 (рисунок 6.8, а).

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 (рисунок 6.8, б).

Переоборудование *радиальных первичных отстойников* во флотационные биокоагуляторы 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 (рисунок 6.9, а). Под флотационную камеру может быть отведена периферийная часть радиального отстойника, который при этом становится комбинированным сооружением – отстойником-флотатором (рисунок 6.9, б).

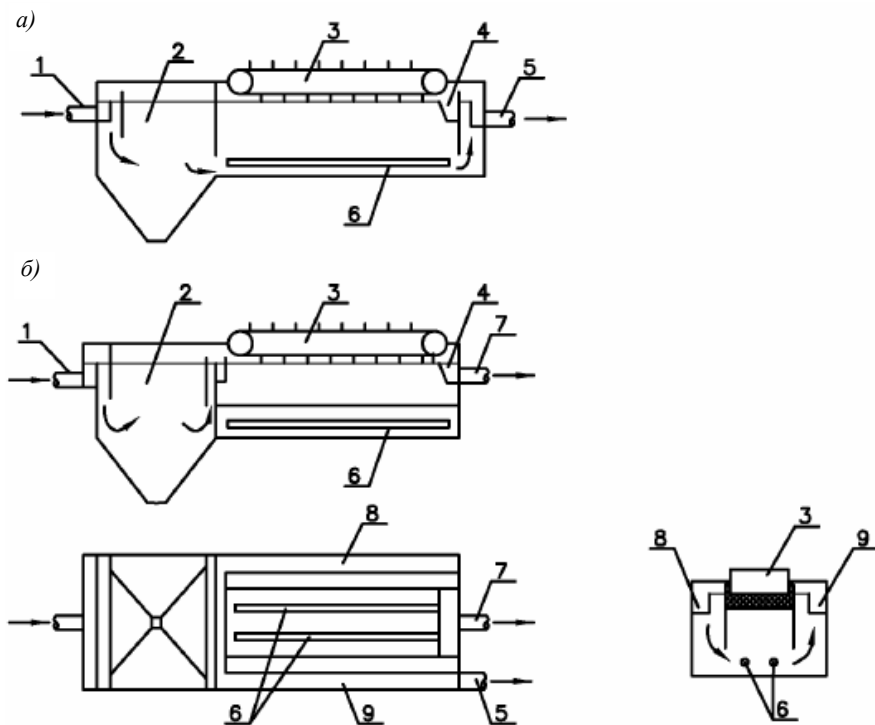


Рисунок 6.8 – Схемы переоборудования горизонтальных отстойников во флотационные биокоагуляторы [30]:

*a* – с рассредоточенной подачей воды по ширине флотационной камеры; *б* – с рассредоточенной подачей воды по длине флотационной камеры;

1 – подача сточных вод; 2 – камера для предварительного отстаивания сточных вод; 3 – скребок; 4 – лоток для сбора флотационного шлама; 5 – трубопровод очищенных сточных вод; 6 – распределительный трубопровод рабочей жидкости; 7 – трубопровод для удаления шлама; 8 – распределительный лоток; 9 – сборный лоток

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 целесообразно использовать скребок, который выполнен в виде спирали Архимеда. Такой скребок перемещает флотационный шлам к периферийному сборному лотку. Шламопроводы в границах флотационного биокоагулятора должны быть диаметром не менее 300 мм.

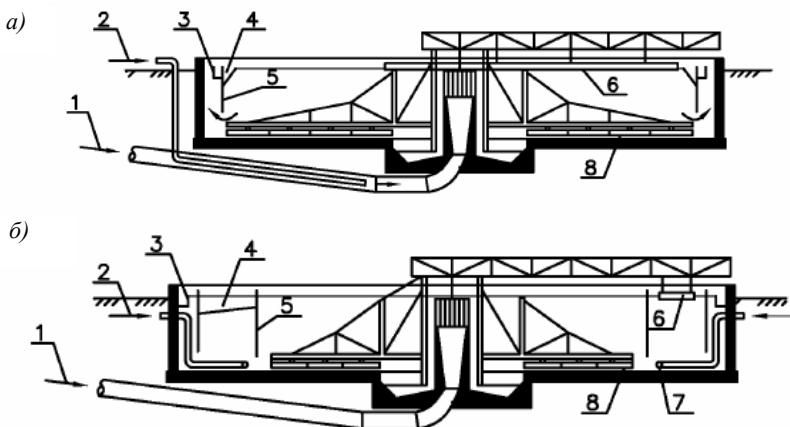


Рисунок 6.9 – Схемы переоборудования радиальных отстойников во флотационные биоагрегататоры:

- а* – введение рабочей жидкости, насыщенной воздухом в подающий сточные воды трубопровод; *б* – периферийная часть отстойника отведена под флотационную камеру;
- 1 – подача сточных вод; 2 – подача рабочей жидкости; 3 – кольцевой лоток для сбора очищенных сточных вод; 4 – шламособорный лоток; 5 – кольцевая перегородка; 6 – скребок для удаления флотационного шлама; 7 – распределительный трубопровод рабочей жидкости; 8 – скребки для удаления осадка

Флотационные биоагрегататоры могут эффективно использоваться 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 использовании всего избыточного активного ила, который образуется в аэротенках при очистке сточных вод мясокомбината, эффект удаления жира во флотационных биоагрегататорах составляет 70–90 %, что обеспечивает снижение практически до нуля концентрации жира в биологически очищенных сточных водах, также приводит к существенному уменьшению нагрузки на аэротенки по органическим загрязнениям.

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, составляет около 50 %. Обычно плавающие вещества вместе с осадком направляются на сбрасывание 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 тем самым выводятся из технологического цикла.

### **6.3 Реконструкция и интенсификация работы биофильтров**

Основной **целью** интенсификации работы биологических фильтров является повышение их пропускной способности и эффективности очистки сточных вод.

*Перед проведением реконструкции 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.

**Основные методы интенсификации работы биофильтров:**

- 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.

#### **6.3.1 Применение новых видов загрузочных материалов**

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

Засыпные загрузки большинства действующих биофильтров при крупности фракций 25–65 мм имеют удельную поверхность размером 50–125 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Пористость загрузок из гравия, щебня и других подобных материалов составляет 40–50 % и является причиной плохой вентиляции и частого заиливания засыпных загрузок (таблица 6.2).



Таблица 6.2 – Характеристики загрузочных материалов биофильтров [6]

Тип загрузки	Пористость, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Крупность фракций, мм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
Объемная	40–50	500–1500	20–80	–
Плоскостная:				
– жесткая засыпная	70–90	100–600		70–100
– жесткая блочная	90–97	40–100	–	80–130
– рулонная	94–99	5–60		80–130
– полиэтилен	80–90			220–250

В последние годы предложено большое количество новых видов загрузочных материалов из плоскостных элементов из пластмасс, асбестоцемента и др. Фильтрующие загрузки из таких элементов:

- имеют хорошую развитую поверхность (90–250 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) и высокую пористость (более 90 %);
- позволяют в 3–4 раза увеличить окислительную мощность высоконагружаемых биофильтров, в 8–10 раз – капельных;
- практически не заиливаются;
- обеспечивают интенсивную естественную аэрацию.

Практическое использование плоскостных пластмассовых загрузок на действующих биофильтрах ограничивается их недостаточным производством.

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

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

### 6.3.2 Реконструкция капельных биофильтров

Технологическая схема очистки сточных вод на капельных биофильтрах включает следующие сооружения: решетки, песколовки, двухъярусные отстойники, капельные биофильтры, вторичные отстойники, контактные резервуары.

Наибольшее распространение получили капельные прямоугольные в плане биофильтры, размещенные в помещении. Высота слоя загружаемого материала таких конструкций биофильтров составляет 1,5–2,0 м. Для проверки пропускной способности биофильтра выполняются поверочные

расчеты по определению реальной пропускной способности сооружений и определяется возможность ее увеличения в соответствии с технической задачей на реконструкцию.

Варианты интенсификации работы биофильтров.

#### **Замена загрузочного материала.**

*Первый вариант* – реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый. Для этого необходимо:

- увеличить высоту слоя загружаемого материала минимум до 2 м;
- установить низконапорные вентиляторы;
- подвести воздуховоды 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.

*Второй вариант* – реконструкция капельного биофильтра в биофильтр с плоскостной загрузкой. При замене объемного загрузочного материала на плоскостной необходимо учитывать, что оптимальная высота плоскостной загрузки должна быть не меньше 3–4 м. При этом очистка сточных вод осуществляется по двухступенчатой технологической схеме: на первой ступени используется 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.

### 6.3.3 Реконструкция высоконагружаемых биофильтров

Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применять несколько вариантов реконструкции.

#### 1 Замена 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 может использоваться рулонный загрузочный материал из гофрированного вторичного полиэтилена. Для орошения поверхности загрузочного материала могут 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. Рассмотрим три возможных варианта реконструкции на примере очистной станции с двумя аэрофильтрами (см. рисунок 6.10).

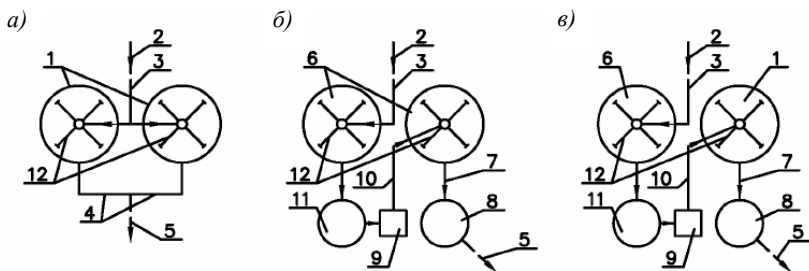


Рисунок 6.10 – Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции и варианты реконструкции высоконагружаемых биофильтров [6]:

*а* – существующая схема очистки сточных вод; *б* – с полной заменой загрузочного материала в одном аэрофильтре; *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 (см. рисунок 6.10, 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 (см. рисунок 6.10, в).

Для реализации первого и второго вариантов потребуются строительство дополнительных отстойников после биофильтров с плоскостной загрузкой и насосной станции для перекачки осветленной воды после отстойников на вторую ступень в аэрофильтр.

### 6.3.4 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, содержит кислород, нитриты и нитраты, аэробные микроорганизмы и ферменты, что способствует увеличению скорости окисления загрязнений био пленкой.

При использовании рециркуляции:

- значительно повышается эффективность участия в процессе очистки нижних слоев загрузки биофильтра;
- уменьшается опасность заиливания загрузки;
- сглаживаются пики концентраций загрязнений сточных вод, поступающих на биофильтры;
- обеспечивается более равномерная гидравлическая нагрузка на биофильтр в течение суток.

Рециркуляция предусматривается при БПК<sub>5</sub> более [34]:

- 150 мг/дм<sup>3</sup> – для капельных биофильтров;
- 200 мг/дм<sup>3</sup> – для аэрофильтров;
- 170 мг/дм<sup>3</sup> – для биофильтров с пластмассовой загрузкой.

Коэффициент рециркуляции определяется в зависимости от концентрации смеси, подаваемой на фильтр в пределах указанных ограничений.

Также рециркуляцию необходимо предусматривать в случае возможного прекращения притока сточных вод на биофильтр во избежание высыхания поверхности загрузки.

Рециркуляция как способ интенсификации работы действующих биофильтров может быть осуществлена несколькими путями.

1 Рециркуляционная вода отбирается из канала после вторичных отстойников и смешивается со сточными водами, очищенными в первичных отстойниках (рисунок 6.11, *а*). В этом случае происходит увеличение нагрузки на вторичные отстойники, поэтому в большинстве случаев необходимо предусматривать строительство дополнительных отстойников.

2 Рециркуляционная вода забирается вместе с осевшей биопленкой из осадочной части вторичных отстойников и смешивается с неочищенными сточными водами перед первичными отстойниками (см. рисунок 6.11, *б*).

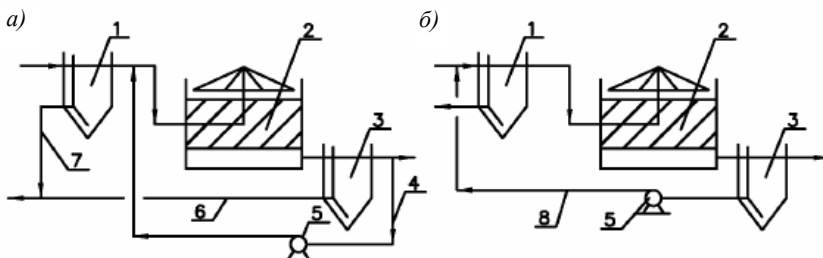


Рисунок 6.11 – Схема очистки сточных вод на биофильтрах с рециркуляцией очищенной воды [30]:

*а* – из канала после вторичных отстойников и подачи после первичных отстойников;  
*б* – из осадочной части вторичных отстойников и подачи перед первичными отстойниками;  
 1 – первичный отстойник; 2 – биофильтр; 3 – вторичный отстойник; 4 – рециркуляционная вода; 5 – насос; 6 – биопленка; 7 – сырой осадок; 8 – рециркуляционная вода с биопленкой

На этапе первичной очистки начинаются процессы биологической очистки, часть растворенных и коллоидных загрязнений удаляется из воды за счет их биокоагуляции биопленкой.

Данный способ рециркуляции:

- позволяет сохранить существующий объем вторичных отстойников, рабочая зона которых рассчитывается в таком случае только на расход очищаемых сточных вод;

- предполагает увеличение объема первичных отстойников пропорционально рециркуляционному расходу.

3 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 (рисунок 6.12).

Реализация такой схемы на действующих очистных сооружениях с высоконагружаемыми биофильтрами обеспечит увеличение производительности биофильтра на 37–40 % и возможна при небольших капитальных затратах.

Расчет биофильтров выполняется согласно действующим нормативным документам [34] с учетом снижения БПК<sub>5</sub> при флотационном осветлении смеси сточных вод и рециркуляционной воды на 35 %.

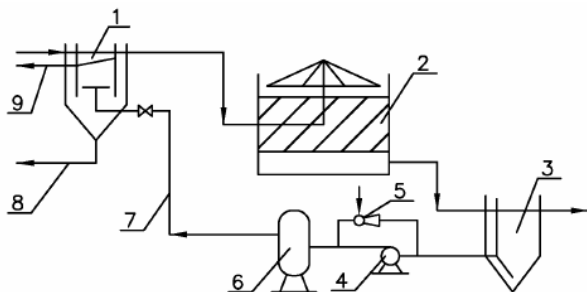


Рисунок 6.12 – Схема очистки сточных вод на биофильтрах с предварительным флотационным осветлением воды [30]:  
 1 – флотационный биокоагулятор; 2 – биофильтр; 3 – вторичный отстойник; 4 – насос; 5 – водоструйный эжектор; 6 – напорный бак;  
 7 – рециркуляционная рабочая жидкость; 8 – осадок;  
 9 – флотационный шлам

Расчетный объем рабочей зоны флотационных биокоагуляторов определяется 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.

### 6.3.5 Применение искусственной вентиляции загрузки биофильтров

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, керамики, 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 дефицита кислорода.

Существование в загрузке анаэробных зон обусловлено, прежде всего, ее заиливанием из-за перегрузки биофильтра поступающими загрязнениями при недостаточной гидравлической нагрузке. Также дефицит кислорода в

загрузке биофильтров может быть вызван недостаточной интенсивностью ее вентиляции, в особенности естественной, рассчитанной в основном на поступление воздуха в толщу загрузки, и обусловленной разницей температур внутри и вне биофильтра.

Интенсивность естественной вентиляции загрузки зависит от сопротивления движению воздуха, которое возрастает при заиливании загрузки биопленкой. Прекращение поступления кислорода в загрузку вызывает загнивание биопленки и выход биофильтра из строя. Такой опасности в большей мере подвержены капельные биофильтры.

Аэрацию загрузки можно улучшить *применением вентиляторов* для подачи воздуха в междудонное пространство под слой загрузочного материала.

Необходимое расчетное 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 наличию локальных заиленных участков.

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 верхний слой;

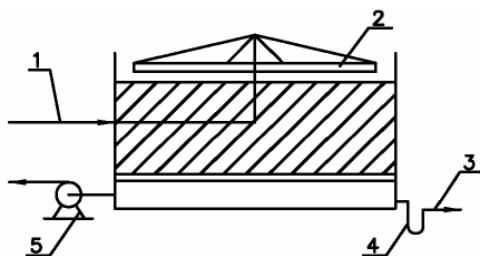
- оборудовать биофильтр герметичными заглушками на отверстиях, которые используются при естественной вентиляции загрузки, а также гидрозатворами на лотках или трубопроводах для отвода очищенной воды.

Также 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.

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 (рисунок 6.13).

Рисунок 6.13 – Биофильтр с вентиляцией загрузки в направлении сверху вниз [30]:

- 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.

### 6.3.6 Применение комбинированных технологических схем

При перегрузке биофильтров по количеству поступающих загрязнений интенсификация биохимических процессов и улучшение условий выноса из загрузки биопленки достигается переводом биофильтров на двухступенчатый режим работы, когда на часть секций биофильтров подают воду, прошедшую очистку на другой части биофильтров (рисунок 6.14).

В таком случае при одинаковой площади секций биофильтров, отводимых под первую и вторую ступень, гидравлическая нагрузка на каждую из них возрастает вдвое. Возможен вариант, при котором несколько секций биофильтра переводятся в режим работы высоко нагружаемых, а остальные работают как капельные.

При двухступенчатой очистке сточных вод, возможно, потребуется:

- увеличение пропускной способности трубопроводов, обслуживающих отдельные секции биофильтров;
- установка насосов для перекачивания сточных вод на биофильтры второй ступени;
- устройство промежуточных вторичных отстойников с продолжительностью отстаивания один час после биофильтров первой ступени.

При переводе биофильтров на режим двухступенчатой очистки необходимо учитывать, что в соответствии с действующими нормативами гидравлические нагрузки биофильтров должны находиться в нормируемых пределах:

- для капельных биофильтров –  $1-3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ ;
- высоконагружаемых –  $10-30 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ .

При рециркуляции и подаче в биофильтры достаточного количества воздуха возможна их эффективная работа при значительно больших гидравлических нагрузках, чем нормируемые.



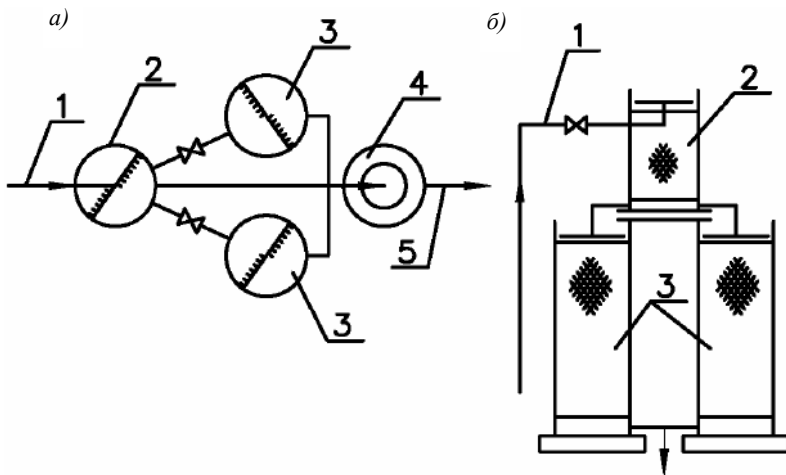


Рисунок 6.14 – Двухступенчатая технология очистки сточных вод на биофильтрах [30]:

*a* – горизонтальная схема; *б* – вертикальная схема;

1 – подача сточной воды; 2 – биофильтр первой ступени; 3 – биофильтр второй ступени; 4 – вторичный отстойник; 5 – отвод очищенной сточной воды

Улучшить работу перегруженных биофильтров можно посредством *включения в технологическую схему высоконагружаемого аэротенка-смесителя, расположенного перед биофильтрами* (рисунок 6.15).

Задачей аэротенка-смесителя является снижение концентраций органических примесей в воде, поступающей на завершающую стадию биологической очистки.

В качестве аэротенка первой ступени используются аэротенки-отстойники, аэротенки-осветлители, а также аэротенки с отдельно расположенным вторичным отстойником. Аэротенки первой ступени могут быть оборудованы механическими, струйными или пневматическими аэраторами.

В последнем случае забор воздуха, подаваемого в аэротенки, целесообразно производить из междудонного пространства биофильтров, что обеспечит нисходящее движение воздуха в системе биофильтр-аэротенк.

Возможна технологическая *схема двухступенчатой биологической очистки сточных вод с аэротенками после биофильтров* (рисунок 6.16).

Строительство аэротенков второй ступени в дополнение к существующим биофильтрам во многих случаях осуществить проще, чем строительство их перед биофильтрами.

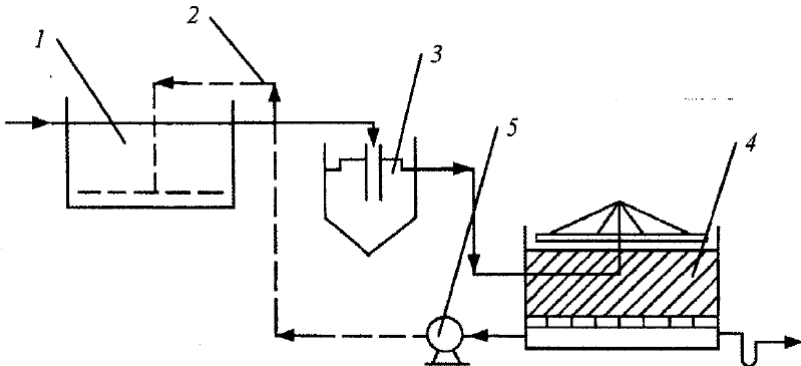


Рисунок 6.15 – Схема двухступенчатой очистки сточных вод с аэротенком перед биофильтрами [37]:  
 1 – высоконагружаемый аэротенк; 2 – подача воздуха; 3 – вторичный отстойник;  
 4 – биофильтр; 5 – воздуходувка

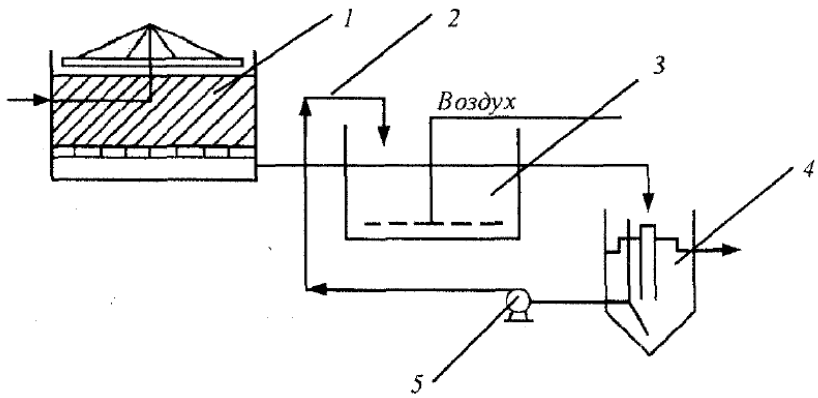


Рисунок 6.16 – Схема двухступенчатой очистки сточных вод с аэротенком после биофильтров [37]:  
 1 – биофильтр; 2 – возвратный активный ил; 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник;  
 5 – насос

В аэротенки второй ступени подается неосветленная вода после биофильтров, а существующие вторичные отстойники используются для отделения от очищенной воды активного ила. Учитывая, что продолжительность вторичного отстаивания сточных вод после аэротенков должна быть не менее двух часов, одновременно со строительством аэротенков в большинстве случаев потребуются некоторое расширение вторичных отстойников.

## 6.4 Реконструкция и интенсификация работы аэрационных сооружений с активным илом

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.
- Основные способы интенсификации работы аэрационных сооружений:*
- 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 глубоинной аэрацией.

Внедрение вышеупомянутых способов на очистных сооружениях может происходить путем:

- строительства новых аэрационных сооружений;
- реконструкции и интенсификации действующих.

Выбирая вариант интенсификации работы аэротенков, необходимо отдавать предпочтение решениям с наименьшими капитальными затратами и обеспечивающим несомненный экономический эффект как с точки зрения оздоровления экологической обстановки, так и экономии материальных и энергетических ресурсов. Поэтому реконструкция и интенсификация действующих сооружений является наиболее перспективным вариантом, чем новое строительство.

### 6.4.1 Увеличение массы активного ила

Основным способом интенсификации работы аэротенков является **повышение концентрации (дозы) активного ила**.

Основное *преимущество* этого способа состоит в возможности значительного увеличения окислительной мощности аэротенка.

К *недостаткам* относятся:

- увеличение выноса активного ила из вторичных отстойников вследствие ухудшения гравитационного разделения иловой смеси при повышении ее концентрации;

– возникновение опасности продолжительного пребывания активного ила в анаэробной части вторичного отстойника, что может вызвать снижение активности ила и, в отдельных случаях, даже его загнивание.

Учитывая это, интенсификацию работы аэротенков необходимо осуществлять с учетом технологического режима работы вторичных отстойников, нормальная работа которых обеспечивается при поступлении в них активного ила в определенных концентрациях.

Предельная концентрация для аэротенков разных очистных сооружений может быть разной и зависит от многих факторов.

Способы увеличения массы активного ила в аэротенках.

### **1 Применение мембранных биологических реакторов (MBR)**

При использовании предварительного разделения иловой смеси в пределах аэротенка сетчатыми насадками, которые удерживают основную массу ила в аэротенке, не допуская его выноса во вторичные отстойники, возникает необходимость устройства второй ступени аэрации, поскольку ил, который прошел через сетчатые насадки, имеет очень низкую способность к осажению во вторичных отстойниках.

Фильтрующие элементы могут использоваться не только в аэротенках, но и в процессе вторичного отстаивания. Таким образом реализуется процесс отделения активного ила с помощью мембранной технологии. В качестве мембранного материала используются разные конфигурации пустот: капиллярные, полые волокна, трубчатые и пластинчатые пористые насадки. Для предотвращения забивания мембран применяется попеременное разрежение (подсос) и невысокое обратное давление.

### **2 Использование нейтральных носителей для образования фиксированной микрофлоры (MBBR-technology).**

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 полилона, 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 он крепится с помощью проволочных сеток. Некоторое распространение при интенсификации аэротенков также приобрели ершковые насадки.

При заполнении аэротенка разными загрузками значительно усложняется доступ кислорода к закрепленным микроорганизмам.

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.

#### **6.4.2 Оптимизация работы аэрационной системы**

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность работы сооружений биологической очистки с активным илом, является достаточное количество кислорода, необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов. Поступление кислорода обеспечивается за счет аэрации сточных вод и осуществляется при использовании аэрационных систем. Аэрация является энергоемким процессом (до 80 % потребляемой на очистных сооружениях электроэнергии).

Благодаря *системе аэрации* осуществляется:

- снабжение кислородом микроорганизмов активного ила;
- поддержание ила во взвешенном состоянии;
- равномерное распределение сточных вод и кислорода во всем объеме аэротенка.

Для нормального протекания *аэробных* процессов очистки сточных вод (окисление органических веществ, нитрификация и др.) необходимо непрерывное и полное обеспечение микроорганизмов активного ила кислородом.

Достижение 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 – 2 мг/л.

Совершенствование систем аэрации позволяет значительно повысить эффективность биохимической очистки, уменьшить эксплуатационные расходы и потребление электроэнергии.

Для оценки и сравнения разнообразных систем аэрации используются несколько показателей.

**Потребность в кислороде при очистке сточной воды**, кг/сут, определяется как сумма расхода кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию с учетом снижения потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации

$$OV = OV_c + OV_N - OV_D, \quad (6.4)$$

где  $OV_c$ ,  $OV_N$  – расход кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию, соответственно, кг/сут;

$OV_D$  – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

При отношении ХПК/БПК<sub>5</sub> сточной воды, поступающей на биологическую очистку, не более 2,2 удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/кг БПК<sub>5</sub>, допускается определять по таблице 6.3 с учетом температуры и возраста ила.

**Таблица 6.3 – Удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ [29]**

В кг/кг БПК<sub>5</sub>

Температура $T$ , °C	Возраст ила, сут					
	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,18	1,22
12	0,87	1,02	1,07	1,15	1,21	1,24
15	0,92	1,07	1,12	1,19	1,24	1,27
18	0,96	1,11	1,16	1,23	1,27	1,30
20	0,99	1,14	1,18	1,25	1,29	1,32

Следующим показателем, который характеризует систему аэрации, является **окислительная способность системы аэрации** – скорость растворения кислорода, показывает количество кислорода, растворяющегося в 1 м<sup>3</sup> жидкости за 1 час, кг О<sub>2</sub>/(м<sup>3</sup>· ч).

Величину окислительной способности системы аэрации практически определяет только объемный коэффициент массопередачи, поскольку растворимость кислорода в сточной воде изменяется довольно ограниченно.

Пределная 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.

Наличие в сточных водах ПАВ, а также повышенные концентрации активного ила ухудшают условия диффузии кислорода и субстрата к бактериальным клеткам. В этом случае при интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках акцент нужно делать на повышение объемного коэффициента массопередачи или увеличению 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.

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, 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 кг O<sub>2</sub>/(м<sup>3</sup>·ч) при высокой эффективности аэрации – 2,5–5 кг O<sub>2</sub>/(кВт·ч);
- интенсивное перемешивание иловой смеси;
- простота конструкции аэраторов;
- возможность использования низконапорных насосов;
- высокая надежность системы;
- простота обслуживания.

В процессе биологической очистки чаще всего используются пневматические аэраторы, из которых наиболее эффективны мелкопузырьчатые. Основное направление усовершенствования мелкопузырьчатой аэрации состоит в создании аэраторов, стойких к засорению, а также легко мантировать и демантировать.

В последние годы стали широко использоваться полимерные аэраторы. Такие аэраторы были разработаны и в настоящее время выпускаются научно-промышленной фирмой «Экополимер»: 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 являются 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.

Внешний слой диспергирующего покрытия представляет собой пористую оболочку из полимерного материала, который имеет хаотично 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 м<sup>3</sup>/ч и малое сопротивление – 1–2,1 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».

#### **6.4.3 Интенсификация перемешивания иловой смеси**

Для предотвращения оседания активного ила и равномерного распределения загрязнений аноксидные и анаэробные зоны оборудуются системами перемешивания.

##### **Способы перемешивания иловой смеси.**

1 Применение мешалок. Разработкой мешалок занимаются фирмы *Flygt*, *Wilo*, *Caprari* и др.



2 Перемешивание кислородом, который подается через систему аэрации. Этот способ можно применять лишь в аэробных условиях, поскольку в анаэробной зоне наличие даже небольшой концентрации растворенного кислорода недопустимо.

3 Поддержание иловой смеси во взвешенном состоянии за счет уменьшения площади живого сечения *продольными перегородками*. Количество перегородок в коридоре аэротенка рассчитывается 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.

4 Гидравлический метод – с помощью затопленных изотермических струй. Исходя из условия, что хлопья активного ила не оседают при скорости движения больше 0,3 м/с, скорость возле стенки сооружения или в расчетном сечении должна иметь такую скорость. Схема расположения sprays может быть разной:

1) трубопровод укладывается на дно вдоль одной стенки коридора аэротенка, а sprays создают струи, пересекающие поток под прямым углом к его оси и взмучивающие его (рисунок 6.17, а);

2) основной трубопровод укладывается вдоль оси потока по центру коридора аэротенка, а sprays направляются в обе стороны к стенкам (рисунок 6.17, б);

3) основной трубопровод укладывается по центру коридора, а от него укладываются ответвления со sprays, которые создают струи, направленные вдоль потока (рисунок 6.17, в).

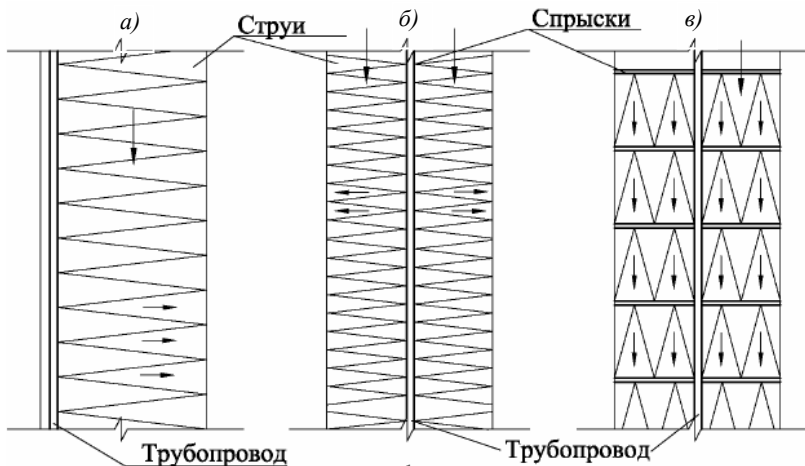


Рисунок 6.17 – Схемы размещения струй на дне коридора сооружения [37]:

а – с одной стороны; б – по центру коридора; в – вдоль основного потока

К *преимуществам* данного способа относятся значительно меньшие капитальные затраты, более высокая степень перемешивания.

*Недостатком* перемешивания затопленными струями являются большие по сравнению с мешалками эксплуатационные затраты. 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 бескислородную для схем процессов *JHB, A/O, UCT* и др.). В этом случае затраты на перемешивание существенно снижаются.

#### **6.4.4 Глубокая биологическая очистка в аэротенках с удалением азота и улучшенным биологическим удалением фосфора**

Глубокая биологическая очистка с удалением азота и улучшенным биологическим удалением фосфора осуществляется в сооружениях, как правило, прямоугольной или круглой формы, куда поступает сточная вода и возвратный активный ил, отделяемый в сооружениях илоотделения.

Глубокая биологическая очистка в аэротанках является сочетанием в одном сооружении **четырёх микробиологических процессов, осуществляемых одним илом**:

– *аэробное окисление органических загрязнений* растворенным кислородом, которое проводится двумя различными функциональными группами микроорганизмов:

Первая – обычные гетеротрофы, потребляющие различные органические соединения;

Вторая – фосфораккумулирующие микроорганизмы, способные потреблять только летучие жирные кислоты, накапливая при этом в биомассе клетки до 4–5 % фосфора в виде полифосфатов;

– *анаэробное поглощение* фосфатоаккумулирующими бактериями летучих жирных кислот с преобразованием их в внутриклеточное полимерное соединение с выделением при этом в жидкую фазу фосфатов. Окисление органических соединений, образующихся в анаэробных условиях, производится позже, при попадании иловой смеси в аэробные условия;

– *аэробное окисление аммонийного азота* до нитратов (нитрификация);

– *аноксидное окисление органических загрязнений* кислородом нитратов, с восстановлением нитратного азота до молекулярного (денитрификация).

Условием проведения денитрификации является отсутствие в иловой смеси растворенного кислорода или очень малая его концентрация (до 0,5 мг/л) [34].

Важным условием эффективного биологического удаления фосфора является предотвращение формирования в анаэробной зоне значимых концентраций нитратов (свыше 1 мг/л), т. к. в их присутствии летучие жирные кислоты, находящиеся в сточной воде, будут потребляться не фосфатоакку-

мулирующими бактериями, а денитрификаторами. Присутствие растворенного кислорода в анаэробной зоне недопустимо.

Для проведения трех групп процессов, характеризующихся разными потребностями в растворенном кислороде и необходимыми диапазонами окислительно-восстановительного потенциала, используют следующие основные приемы:

- физическое разделение процессов путем *выделения специальных зон* нитрификации и денитрификации. Такое решение, как правило, требует устройства рециркуляции между зонами, т. к. процесс нитрификации происходит тогда, когда почти все органические загрязнения удалены, а последующий за ним процесс денитрификации требует достаточного количества органических соединений;

- *разделение процессов во времени*, в одном и том же объеме сооружения. Может быть частичным, при этом фазы нитрификации и денитрификации повторяются многократно, и полным (используется в циклических реакторах).

Для поддержания биохимического процесса окисления аэробные зоны аэротенков (либо все сооружение в аэробной фазе) аэрируются с помощью самых разнообразных пневматических, механических или гидравлических систем. В результате процессов аэрации происходит растворение в иловой смеси кислорода воздуха и его потребление микроорганизмами ила.

В результате технологического процесса происходит сорбция на иле и окисление (полное, либо частичное) органических загрязнений как растворенных, так и взвешенных. Окисляемые органические соединения трансформируются в углекислоту и воду. В результате питания и деления микроорганизмов активного ила, а также сорбции ими загрязняющих веществ происходит прирост активного ила.

Одновременно с окислением органических загрязнений (на заключительных стадиях этого процесса) происходит биологическое окисление аммонийного азота – *нитрификация*.

При разделении процесса на зоны (фазы) проведение денитрификации требует *перемешивания* иловой смеси, во избежание ее расслоения. Перемешивание осуществляют **мешалками** различных конструкций.

В схемах с зональным разделением нитри- и денитрификации производится *рециркуляция иловой смеси*, содержащей нитраты, из конца аэробной зоны в начало аноксидной. Эта *рециркуляция может осуществляться* с помощью:

- погружных насосов;
- путем создания горизонтально ориентированными мешалками бесконечного потока («карусель») иловой смеси между зонами;
- эрлифтов (только на малых установках).

Перемешивание иловой смеси в анаэробной зоне также необходимо и может производиться только мешалками.

В зависимости от используемой разновидности метода для предотвращения попадания нитратов в анаэробную зону может применяться подача в анаэробную зону не возвратного активного ила, а иловой смеси, прошедшей предварительную денитрификацию рециркуляционными насосами.

При проведении реконструкции аэротенков, обеспечивающих удаление органических веществ, с внедрением глубокого удаления азота и фосфора осуществляется выбор технологической схемы с учетом качественного состава сточных вод, технико-экономического сравнения вариантов.

Наибольшее распространение при реконструкции аэротанков в Республике Беларусь получила технологическая **схема 3-стадийного процесса Phoredox (A<sup>2</sup>/O)**, которая является модификацией A/O процесса.

В процессе A<sup>2</sup>/O (рисунок 6.18) к конфигурации A/O-процесса добавляется аноксидная зона для реализации процесса денитрификации.

Схема A<sup>2</sup>/O реализует процессы биологического удаления фосфора, окисления органических соединений, нитрификации и денитрификации.

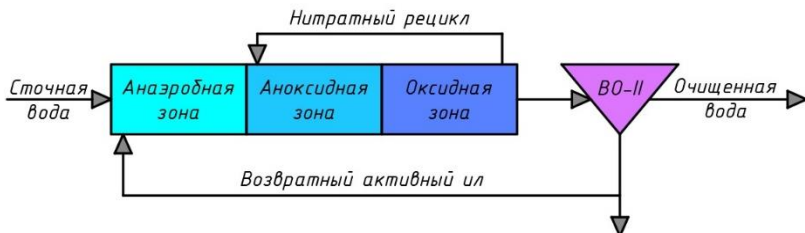


Рисунок 6.18 – Схема A<sup>2</sup>/O (Anaerobic/Anoxic/Oxic) процесса

Обогащенная нитратами иловая смесь рециркулирует из конца аэробной зоны в начало аноксидной зоны.

*Недостатком* 3-стадийного Phoredox процесса является наличие нитратов в рецикле активного ила из вторичных отстойников, что приводит к недостаточной надежности процесса удаления фосфора.

В схеме A<sup>2</sup>/O, как и во всех объединенных схемах биологического удаления азота и фосфора, продолжительность пребывания ила в каждой зоне должна быть достаточной, чтобы позволить достичь полного выделения/поглощения фосфатов. Вторичный отстойник должен эксплуатироваться с непрерывным удалением осадка, чтобы избежать выделения фосфатов при эндогенном дыхании факультативными анаэробами.

Данная схема дает стабильные результаты очистки сточных вод по фосфору только при очистке высококонцентрированных по органическим веществам сточных вод.

Идеи Phoredox-процесса используются во многих схемах совместного биологического удаления азота и фосфора.

**Пятистадийный процесс Барденфо** (рисунок 6.19) отличается от четырехстадийного процесса добавлением анаэробной зоны в начале системы.

По сравнению с  $A^2/O$  процессом в пятистадийном процессе Барденфо дополнительно устраиваются две зоны: вторая аноксидная и вторая анаэробная.

Сточная вода поступает в анаэробную зону, где смешивается с возвратным активным илом. Так как количество нитратов в возвратном иле обычно низкое (от 1 до 3 мг/л), у них нет потенциала, чтобы существенно интерферировать с процессом удаления фосфора как в схеме  $A^2/O$ . Затем иловая смесь поступает в первую аноксидную зону, куда также подается нитратный рецикл с конца первой аэробной зоны. Далее иловая смесь поступает во вторую аноксидную зону и затем во вторую аэробную.

Данная схема позволяет достичь глубокого удаления соединений азота и может быть использована для очистки высококонцентрированных по соединением азота сточных вод.

Для повышения эффективности процесса денитрификации во вторую аноксидную зону, возможно потребуется введение дополнительного источника углерода для проведения полной денитрификации или для минимизации объема второй аноксидной зоны. Необходимость дополнительно введения источника углерода определяется при математическом моделировании работы аэротенков.

Вторая аэробная зона используется для доокисления органических соединений. Концентрация растворенного кислорода в ней, даже на входе, поддерживается не более 1,5–2,0 мг/л, что позволяет обеспечить минимальное количество растворенного кислорода, заносимого с возвратным активным илом в анаэробную зону, и повысить тем самым эффективность биологического удаления фосфора.

Качество очищаемой воды может достигать концентрации 2,0–5,0 мг/л по азоту общему.



Рисунок 6.19 – Схема 5-стадийного процесса Барденфо

Путем улучшения 3-стадийного процесса Барденфо разработан процесс *UST* (рисунок 6.20), в котором предусмотрено снижение нитратов в анаэробной зоне.

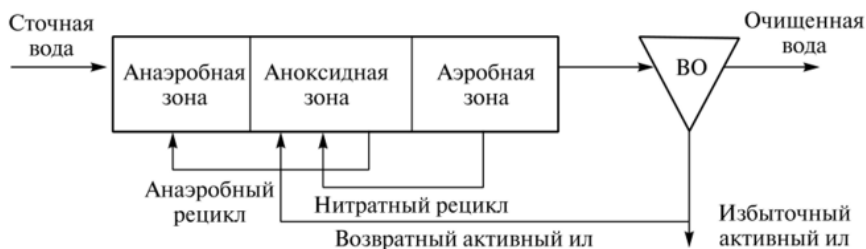


Рисунок 6.20 – Схема *UST* процесса

Процесс состоит из трех стадий: анаэробной, аноксидной и аэробной. Возвратный ил поступает из вторичного отстойника в аноксидную зону вместо анаэробной, чтобы учесть денитрификацию и избежать интерференции нитратов с активацией ФАО в анаэробной стадии. Обогащенная нитратами иловая смесь рециркулирует из аэробной зоны в аноксидную, а денитрифицированная иловая смесь возвращается из аноксидной зоны в анаэробную.

При реализации процесса *UST* сточная вода поступает в анаэробную зону, куда также подается циркулирующая иловая смесь из конца аноксидной зоны. Подача в анаэробную зону денитрифицированной иловой смеси позволяет обеспечить минимальную, почти нулевую концентрацию нитратов в анаэробной зоне. В результате в анаэробной зоне создаются идеальные анаэробные условия для стабильного и эффективного выделения фосфора.

Возвратный ил, содержащий нитраты, поступает в аноксидную зону сооружения вместе с нитратным рециклом.

Процесс *UST* применим не только для средне- и высококонцентрированных по органическим соединениям сточных вод, но и для низкоконцентрированных сточных вод.

В **модифицированном UST-процессе (MUST)** аноксидная зона разделена на две стадии. Обогащенная нитратами иловая смесь циркулирует из аэробной зоны в начало второй аноксидной зоны (рисунок 6.21).

Возвратный ил, содержащий нитраты, рециркулирует в первую аноксидную зону, где денитрифицируется. С конца первой аноксидной зоны денитрифицированный ил рециркулирует в начало анаэробной зоны

В процессе *MUST* введена дополнительная аноксидная зона по сравнению с *UST* процессом.

В первую аноксидную зону, следующую за анаэробной, поступает возвратный активный ил для денитрификации содержащихся в нем нитратов. Иловая смесь с конца аноксидной зоны, практически не содержащая

нитратов поступает в анаэробную зону (анаэробный рецикл), где смешивается с поступающей сточной водой. Во второй аноксидной зоне происходит процесс денитрификации нитрифицированной иловой смеси поступающей с конца аэробной зоны.



Рисунок 6.21 – Схема процесса *MUST*

Процесс *MUST* позволяет достичь еще более высокой эффективности биологического удаления фосфора за счет того, что в первой аноксидной зоне происходит денитрификация только возвратного активного ила на субстрате сточной воды, поступающей после анаэробной зоны. Это позволяет снизить практически до нуля концентрацию нитратов в конце первой аноксидной зоны и подать в анаэробную зону иловую смесь, не содержащую нитратов

**Схема *JHB*** (рисунок 6.22) была разработана в связи с низким значением ХПК в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, что ограничивало эффективность денитрификации и дополнительный поток нитратов в возвратном иле был нежелателен. Эта схема является упрощенной версией *MUST*-процесса.

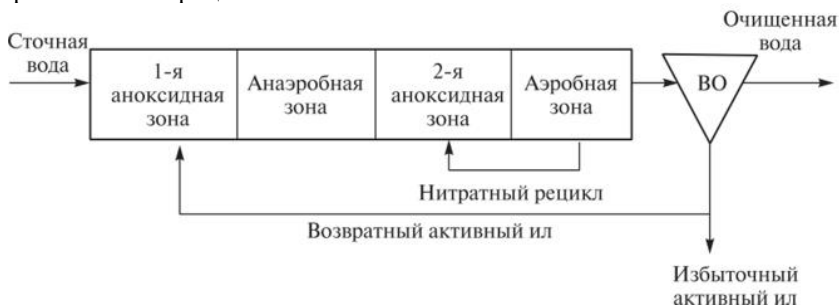


Рисунок 6.22 – Схема процесса *JHB*

Схема *JHB* позволяет решить проблему поступления нитратов в анаэробную зону с возвратным активным илом. Сточная вода, поступающая в анаэробную зону, смешивается с проденитрифицированным возвратным активным илом. На потоке возвратного активного ила устанавливается аноксидная зона (денитрификатор ВАИ), где реализуются процессы дезоксидации и

денитрификации активного ила. В результате данная схема позволяет решить проблему поступления в анаэробную зону нитратов, характерную для процессов  $A^2/O$  и пятистадийного Барденфо. Однако эффективность процесса денитрификации возвратного активного ила не достаточно высока, что не позволяет создать истинно бескислородные условия в анаэробной зоне.

**Модифицированный процесс *ЖНВ*** (рисунок 6.23) имеет повторный цикл с конца анаэробной зоны к началу предыдущей аноксидной зоны для обеспечения остаточными легко биологически разлагаемыми соединениями процесса денитрификации.



Рисунок 6.23 – Схема модифицированного процесса *ЖНВ* (*МЖНВ*)

Сравнение технологических схем глубокого удаления азота и фосфора приведено в таблице 6.4.

При реконструкции аэротенков с применением глубокого удаления азота и фосфора необходимо решить задачу оптимального подбора дозы активного ила и выделения объемов зон в существующих аэротенках без строительства дополнительных секций. Если при этом требуется увеличение дозы ила свыше  $5 \text{ мг/дм}^3$ , то рассматривается возможность применения способов увеличения массы активного ила (см. п. 6.4.1).

Важным инструментом повышения глубины биологического удаления фосфора является стимулирование образования летучих жирных кислот (ЛЖК) в сточной воде, поступающей в анаэробную зону, либо непосредственно в последней. Этот самопроизвольный биохимический процесс трансформации легкоразлагаемых органических веществ в ЛЖК называют **ацидофикацией** сточных вод или осадка. Ацидофикация возможна:

- в *первичных отстойниках* – производится за счет рециркуляции выгружаемого осадка обратно в отстойник;
- в *уплотнителях осадка первичных отстойников* – также возможно за счет рециркуляции, иловая вода направляется в сточную воду перед подачей в анаэробную зону;
- *отдельных реакторах – ацидофикаторах* с последующим уплотнением в уплотнителях – наиболее сложный, но и наиболее эффективный способ;



Таблица 6.4 – Сравнение технологических схем удаления азота и фосфора в аэротенках

Преимущества	Недостатки
<i>Пятистадийный Барденфо</i>	
Улучшенная нитрификация. Возвратный ил свободен от нитратов. Хороший опыт эксплуатации. Доказанная технология	Большие объемы сооружений, чаще используется в окислительных каналах
<i>A<sup>2</sup>/O</i>	
Хорошо удаляет как азот, так и фосфор. Обеспечивает щелочность для нитрификации. Продуцирует хорошо осаждающийся ил. Относительно простая эксплуатация. Экономия энергии. Наиболее проверенная технология. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты	Возвратный ил содержит нитраты, поступающие в анаэробную зону, что уменьшает эффективность удаления фосфора. Удаление азота лимитировано величиной внутреннего рецикла. Необходимо более высокое соотношение БПК/Р, чем в А/О- процессе
<i>UST</i>	
Нагрузка нитратов в анаэробной зоне уменьшена, что увеличивает эффективность удаления фосфора. Для низкоконцентрированных сточных вод может быть достигнуто хорошее удаление фосфора. Продуцирует хорошо осаждающийся ил с крупными тяжелыми флокулами. Хорошее удаление азота	Требуется дополнительная система рециркуляции. Неэффективное использование зоны денитрификации. Концентрация иловой смеси в анаэробной зоне снижена, что может потребовать повышенного времени пребывания
<i>MUST</i>	
Отдельная аноксидная зона для денитрификации рециркуляционного ила защищает анаэробную зону. Хороший опыт эксплуатации. Надежность	Два внутренних рецикла. Повышенная сложность процесса. Большой анаэробный объем. Неэффективное использование зоны денитрификации (больше чем <i>UST</i> )
<i>JNB</i>	
Минимальная требуемая площадь. Улучшенная дефосфотация. Стабильность	Неполная денитрификация
<i>MJNB</i>	
Лучший опыт эксплуатации среди систем биологического удаления азота и фосфора	Неполная денитрификация

– анаэробной зоне аэротенка, путем ограничения перемешивания иловой смеси в данной зоне.

*Ацидофикация* позволяет удалять:

- органические загрязнения с эффективностью до 96–98 % (до 5–8 мг/л);
- соединения азота до 90 %, в том числе аммонийный азот до 0,3–0,4 мг/л, азот нитратов – до 6–9 мг/л;
- общий фосфор – до 90 % (до 0,5–0,7 мг/л);
- фосфор фосфатов – до 95 % (до 0,2–0,5 мг/л).

Значительная часть органических соединений не окисляется, а трансформируется в прирост активного ила, увеличивая его концентрацию в сооружении. Соответственно, необходимо выводить избыточный активный ил (после сооружений илоотделения), обрабатывать его и размещать в окружающей среде.

Процесс растворения кислорода в аэротенке характеризуется высокой энергоемкостью. Энергия потребляется в виде электроэнергии и не может быть рекуперирована.

Отличительной особенностью процесса является повышенное потребление воздуха (соответственно, электроэнергии) за счет расходования кислорода на окисление аммонийного азота. Однако увеличение потребления кислорода, по сравнению с полной биологической очисткой, не столь значительно, как при проведении только нитрификации, т. к. 2/3 энергии,шедшей на нитрификацию, потом используется для окисления органических загрязнений в процессе денитрификации.

Возможны эмиссии летучих веществ в воздушную среду, в особенности – в анаэробной зоне. В аноксидной и аэробной зонах (фазах), выделение восстановленных соединений серы и ЛЖК невелико.

Возможность и условия применения в значительной степени определяются параметрами загрязненности сточных вод, прежде всего – соотношением БПК/азот, БПК/фосфор, летучие жирные кислоты/фосфор в потоке, поступающем на биологическую очистку. При низких значениях этих соотношений эффективность улучшенного биологического удаления фосфора будет существенно снижена, вплоть до полного отсутствия.

Распространенным способом повышения эффективности процесса биологического удаления фосфора является ацидофикация взвешенных веществ сточных вод, направленная на увеличение концентрации летучих жирных кислот в сточной воде. Однако возможности этого метода ограничены соотношениями БПК/азот, БПК/фосфор в исходной сточной воде.

Часто используется полный отказ от первичного осветления сточных вод, что позволяет повысить указанные соотношения в подаваемой на биологическую очистку сточной воде.

Универсальным способом повышения применимости метода является добавление в анаэробную зону достаточного количества летучих жирных кислот в виде технической уксусной кислоты либо специально обработанных органических отходов.

Фосфор, биологически поглощенный активным илом, очень быстро может выделиться в жидкую фазу вновь при попадании ила в анаэробные условия и в особенности при смешении с органическими легкоокисляемыми веществами, в частности, с осадком первичных отстойников. Это обстоятельство во избежание формирования на очистных сооружениях мощного рецикла фосфатов накладывает существенные ограничения на проведение процессов обработки осадка и требует применения специальных технологических приемов. Следует отметить, что в процессе анаэробного сбраживания, несмотря на наличие анаэробных условий, выделение биологически поглощенного фосфора не превышает 15–20 % [13].

При наличии в бассейне канализования мощных источников нерегулярной нагрузки или залповых сбросов органических загрязнений (пищевые, химические, нефтехимические предприятия), приводящих к увеличению нагрузки по органическим загрязнениям более, чем на 50 %, возможна хронически нестабильная работа метода с ухудшением качества очистки по БПК<sub>5</sub> до 20–40 мг/л и негативным влиянием на сооружения илоотделения. При сбросе определенных токсикантов, а также в результате перерывов в подаче электроэнергии более, чем на 15 ч возможно ухудшение процесса нитрификации.

Для повышения глубины и надежности удаления фосфора в дополнение к биологической дефосфотации могут применяться **реагенты** (коагулянты). Данный процесс называется *биолого-реагентным* или *биолого-химическим удалением фосфора*.

Удаление фосфора происходит в основном путем сорбции фосфатов на хлопьях *гидроксида железа* или *алюминия*. Возможны различные точки введения реагента:

- перед первичным отстаиванием (если оно применяется);
- в аэротенк;
- перед вторичными отстойниками;
- в возвратный ил;
- в возвратные потоки.

Использование биолого-химического удаления фосфора применимо на очистных сооружениях любой производительности.

*Недостатком* биолого-химического удаления фосфора является увеличение эксплуатационных расходов по следующим статьям:

- приобретение реагентов,
- обработка, перекачка, обезвоживание, вывозка и размещение дополнительного количества осадка, образующегося за счет включения гидроксида железа или алюминия в его сухое вещество;
- эксплуатация узла хранения реагента, приготовления и дозирования его раствора.

## 6.5 Реконструкция и интенсификация работы вторичных отстойников

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

На разделение иловой смеси оказывает влияние режим перемешивания; оптимальные условия создаются при низкоградиентном перемешивании.

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

Седиментационные свойства активного ила улучшаются в случае обработки иловой смеси коагулянтами дозами около 100 мг/л. Осаждение коагулированного активного ила происходит с повышенной интенсивностью, а коагулянт не ухудшает окислительной способности ила. Но коагуляция иловой смеси требует тщательного обоснования, так как необходимо дооборудовать очистные сооружения реагентным хозяйством.

При увеличении расходов иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники, возможен вариант применения *тонкослойных модулей*.

При реконструкция очистных сооружений с целью интенсификации осаждения иловой смеси возможны варианты переоборудования вторичных отстойников или других емкостей во *флотаторы*.

Для флотационного разделения иловой смеси применяется прямоточная схема напорной флотации. Продолжительность процесса и удельный расход воздуха принимаются по таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Параметры к расчету флотационного разделения активного ила

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

При расчете назначаются:

- коэффициент использования объема флотационной камеры – 0,4–0,5;
- давление в сатураторе – 0,6–0,9 МПа;
- длительность насыщения – 3–4 мин.

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

На рисунке 6.24 приведена схема флотационной камеры (илоотделитель), представляющей собой круглый в плане резервуар, внутри которого размещены два яруса цилиндрических и конических перегородок, которые предназначены для уменьшения вихреобразований и увеличения коэффициента использования объема сооружения.

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

Помимо улучшения качества активного ила флотационное разделение иловой смеси имеет и другие важные *преимущества*:

- возможность снижения концентрации БПК<sub>5</sub> и взвешенных веществ до 8–10 г/л;
- получение выделяемого ила при низкой влажности (около 97 %).

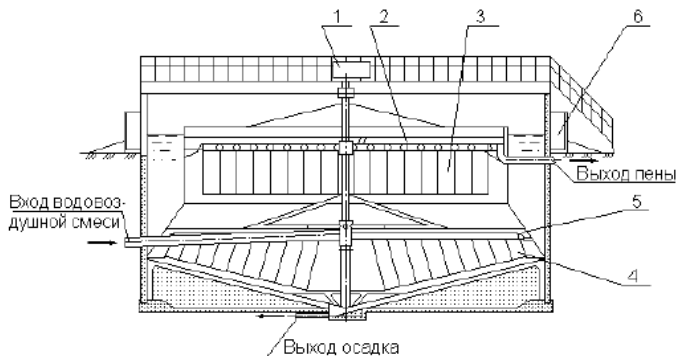


Рисунок 6.24 – Флотационный илоотделитель:

- 1 – двигатель; 2 – скребки для пены; 3 – цилиндрические перегородки; 4 – конические перегородки; 5 – дырчатый распределитель; 6 – лоток осветленной воды

В результате флотационного илоотделения объем ила образуется в 5–6 раз меньше выпадающего во вторичных отстойниках.

Реконструкция включает дополнительный монтаж узла насыщения иловой смеси воздухом, установку насосного оборудования, прокладку дополнительных трубопроводов, подачу сжатого воздуха от компрессоров. Флотаторы являются энергоемкими установками.

## **7 РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

На станциях очистки сточных вод сырые осадки образуются в первичных отстойниках, во вторичных отстойниках в зависимости от сооружений биохимической очистки – биоуплотнитель или 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 загнивающих с образованием коллоидных систем и неприятного запаха, а также наличием в их массе бактериальной микрофлоры и яиц гельминтов. 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.

Сброженный в метантенках осадок по сравнению со свежим имеет более мелкую однородную структуру. 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.

Активный ил содержит значительное количество аэробных бактерий. Органическая часть ила состоит из веществ белкового происхождения (до 50 %), жиров (до 20 %) и углеводов (до 8 %) [30].

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 [30].

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 (таблица 7.1). 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.

При уплотнении избыточного активного ила значительно уменьшаются объемы осадков, это приводит к интенсивному образованию коллоидных веществ и резкому увеличению удельного сопротивления фильтрации.

Органические соединения в осадках можно рассматривать как энергообразующие вещества. Теплота сгорания осадков определяется элементарным составом сухого вещества и влажностью. В перерасчете на сухое вещество удельная теплота сгорания осадков приведена в таблице 7.2.

**Таблица 7.1 – Характеристика осадков сточных вод**

Тип осадков	Влажность, %	Удельное сопротивление, $10^{10}$ см/г
Осадок из первичных отстойников: – преобладание производственных сточных вод	91,0–96,0	50–300
– преобладание хозяйственно-бытовых сточных вод	94,0–97,0	150–450
Неуплотненный активный ил	99,2–99,6	150–710
Уплотненный активный ил	96,8–97,5	720–1000
Смесь сырого осадка и неуплотненного активного ила	96,0–97,0	320–1000
Смесь сырого осадка и уплотненного активного ила	95,5–97,0	600–800
Осадки, сброженные в термофильных условиях	–	3900–10000
Осадки, сброженные в мезофильных условиях	–	350–6700

**Таблица 7.2 – Удельная теплота сгорания осадков сточных вод**

Тип осадков	Удельная теплота сгорания в пересчете на сухое вещество, МДж/кг	Влажность, %
Осадок из первичных отстойников	18–22	96,0–97,5
Уплотненный активный ил	15–18	96,5–98,0

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 гидроксидом 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.

## 7.1 Интенсификация илоуплотнения

Влажность осадка сточных вод составляет 97,0–99,5 %. При уплотнении содержание сухого вещества в осадке при незначительных затратах энергии увеличивается за счет снижения содержания влаги.

Уплотнение осадка используется в качестве предварительной обработки перед сбраживанием или перед обезвоживанием на очистных сооружениях, которые работают без сбраживания.

Гравитационное уплотнение является наиболее распространенным и простым способом снижения влажности осадка сточных вод при минимальных затратах электроэнергии. Но даже при нормальных нагрузках гравитационное уплотнение избыточного активного ила не может обеспечить снижение его влажности ниже 97 %, что обусловлено специфическим характером взаимодействия частичек ила с водой во время уплотнения [37].

### **Способы интенсификации работы гравитационных илоуплотнителей.**

- коагуляция;
- перемешивание во время уплотнения;
- совместное уплотнение активного ила и сырого осадка;
- термогравитация;
- флотационное уплотнение

*Коагуляция.* В качестве коагулянта можно использовать соли железа и алюминия и флокулянты. Наиболее эффективным считается хлорид железа, который по сравнению с другими реагентами быстрее разрушает белковые соединения. Коагулирующими свойствами обладает и вода, полученная после обезвоживания в цехе механического обезвоживания осадка, предварительно обработанного флокулянтами.

Для интенсификации уплотнения также применяются вспомогательные неорганические или органические флокулянты (как правило, полимеры) [25]. При использовании флокулянтов необходимы особые условия смешения, хранения и подачи.

Оптимизация процессов дозирования и смешения флокулянтов помогает улучшить результат. Осадок (смесь осадков) на различных очистных сооружениях имеет свои особенности, поэтому для получения оптимального результата и повышения эффективности необходимо проведение лабораторных и промышленных испытаний.

*Перемешивание* с помощью стержневых мешалок или вертикальных решеток, закрепленных на иловом скребке радиальных илоуплотнителей, способствует укрупнению частичек ила и лучшему его уплотнению.



При совместном уплотнении активного ила и осадка из первичных отстойников весь избыточный активный ил подается в преаэраторы, откуда вместе с водой поступает в первичные отстойники. Осадок из первичных отстойников с концентрацией 6–8 г/л подается в илоуплотнитель, сюда же подается промывная вода (очищенные сточные воды) в соотношении 1:1 к расходу осадка. Вместе с промывной водой в илоуплотнитель можно подавать раствор хлорного железа с расчетной дозой 0,5 % от массы сухого вещества осадка. После уплотнения на протяжении 3 ч влажность осадка снижается до 93–94 % [37].

**Термогравитационное уплотнение.** По сравнению с гравитационным уплотнением активного ила в отстойниках, сгущение в термогравитационных уплотнителях (рисунок 7.1) интенсивнее в 20 раз.

Положительный и высокий эффект уплотнения достигается за счет того, что в результате подогрева происходит расщепление гидратной оболочки, прочно удерживающей частицы ила, которые затем собираются в более крупные гранулы, быстрее оседают и уплотняются [5].

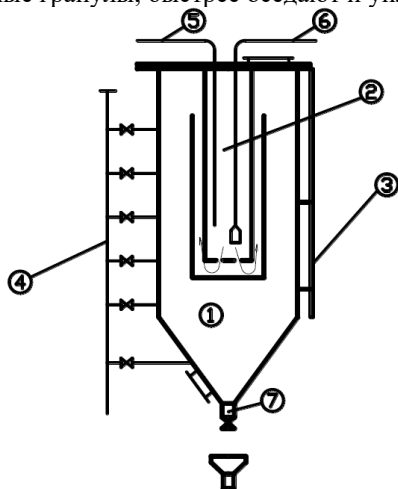


Рисунок 7.1 – Термогравитационный уплотнитель [5]:

- 1 – металлический корпус;
- 2 – камера подогрева;
- 3 – выносная смотровая камера;
- 4 – сливная труба;
- 5 – иловая труба;
- 6 – паропровод;
- 7 – нижний патрубок с задвижкой

При уплотнении активный ил подогревается паром до 70–90 °С, затем отстаивается в течение 30–60 мин, при этом влажность снижается до 96,5 %. При подогреве в течение 30 мин происходит полное уничтожение гельминтов и кишечных палочек.

**Флотационное уплотнение ила,** по сравнению с гравитационным, требует меньшего времени и позволяет получить более глубокое и регулируемое качество уплотнения, но при этом является энергоемким. При реконструкции действующих очистных сооружений эффективным считается переоборудование существующих гравитационных илоуплотнителей вертикального и радиального типов во флотационные. Наибольшее распространение на

практике получила напорная флотация. При этом в осадок активного ила подается определенное количество воды, предварительно насыщенной воздухом под давлением до 0,4 МПа. При снижении давления выделяется растворенный воздух в виде мелких пузырьков. Схема флотационного уплотнителя приведена на рисунке 7.2. Рабочая жидкость подается по трубопроводам в нижнюю часть распределительного устройства. Сфлотированный ил собирается скребком в периферийный лоток. Расход воздуха на уплотнение составляет 50–60 л/м<sup>3</sup>. Влажность уплотненного ила достигает 94,5–95,0 %. Продолжительность уплотнения составляет 3–4 ч [37].

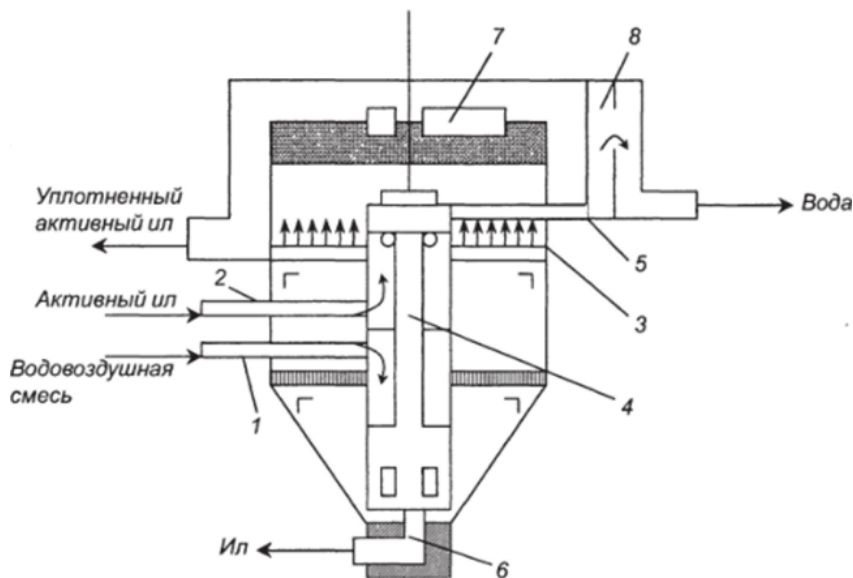


Рисунок 7.2 – Флотационный уплотнитель:

- 1 – ввод водовоздушной смеси; 2 – ввод исходного ила; 3 – дырчатая труба; 4 – распределительное устройство; 5 – трубопровод для удаления осветленной жидкости; 6 – трубопровод для опорожнения уплотнителя; 7 – скребок; 8 – лоток

При гравитационном уплотнении эксплуатационные затраты незначительны. При механическом уплотнении эксплуатационные затраты гораздо выше, однако выше и полученное содержание сухого вещества.

Основные направления интенсификации гравитационного и флотационного уплотнения приведены в таблице 7.3.

В странах Евросоюза получили распространение механические уплотнители. Постоянно действующие механические уплотнители являются приемлемым решением в основном для крупных очистных сооружений с метантенками. Это позволяет загружать в метантенку осадок с более высоким

содержанием сухого вещества, что сокращает расход энергии для нагрева осадка при сбраживании. Если продолжительность нахождения осадка в метантенке невелика, уплотнение может использоваться для улучшения результатов сбраживания [25].

Таблица 7.3 – Методы интенсификации работы илоуплотнителей [30]

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Гравитационное уплотнение (вертикальные отстойники)</i>		
Применение коагулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования рабочих растворов реагентов	Повышение пропускной способности отстойников.
Использование флокулянтов		Улучшение влагоотдающих свойств уплотненных осадков. Уменьшение уноса взвешенных веществ с иловой водой
<i>Гравитационное уплотнение (радиальные отстойники)</i>		
Переоборудование	Оборудование отстойника фермами с вертикальными сваями для перемешивания осадка	Уменьшение влажности уплотненных осадков
Применение коагулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Повышение пропускной способности уплотнителей
Использование флокулянтов	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Улучшение влагоотдающих свойств уплотненных осадков. Уменьшение уноса взвешенных веществ с иловой водой
<i>Флотационное уплотнение</i>		
Применение новых систем подачи и распределения воздуха	Замена системы подачи воздуха на более продуктивную	Уменьшение энергозатрат. Повышение пропускной способности флотаторов
Применение новых систем сбора флотированного осадка	Замена системы сбора осадков после флотации	Повышение производительности сооружений. Уменьшение влажности осадка после флотации
Замена сооружений гравитационного уплотнения на оборудование для механического уплотнения	Установка рукавов на патронных фильтров	Уменьшение площади сооружений для уплотнения осадков
	Установка сепараторов для уплотнения избыточного ила	Улучшение условий эксплуатации сооружений
	Установка центрифуг для уплотнения избыточного ила	Улучшение экологического состояния в районе очистных сооружений

## 7.2 Интенсификация стабилизации осадков сточных вод

### 7.2.1 Интенсификация работы аэробных стабилизаторов

При наличии в технологической схеме обработки осадков аэробных стабилизаторов необходимо, прежде всего, определить фактические параметры работы и оценить их отклонения от проектных и нормативных требований. Наиболее точным и надежным показателем, который характеризует ход и окончание процесса стабилизации, считается *дегидрогеназная активность ила*. Снижение дегидрогеназной активности практически до нуля есть показатель окончания процесса аэробной стабилизации. Скорость окисления легко гниющих компонентов осадка уменьшается до определенного уровня, после чего она остается практически постоянной. Это свидетельствует об окончании процесса стабилизации, дальнейшее продолжение аэрации приводит к лизису бактериальных клеток, уменьшению объема биомассы активного ила и увеличению его зольности, но уже не уменьшает количество легко гниющих компонентов, которые определяют его стабильность.

Обычно на перегруженных очистных сооружениях первоочередной задачей является **ускорение процесса стабилизации**, чтобы, по возможности, обойтись без строительства дополнительных сооружений (стабилизаторов).

Основные направления интенсификации работы аэробных стабилизаторов приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Методы интенсификации работы аэробных стабилизаторов [30]

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
Удаление грубо-дисперсных примесей	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Увеличения глубины распада органических веществ. Снижение энергозатрат
Повышение степени массообмена	Замена механических аэраторов или фильтросных пластин на мелкопузырчатые аэраторы	Улучшение использования объема стабилизатора. Снижение энергозатрат
Применение рециркуляции	Монтаж системы рециркуляции	Увеличение пропускной способности стабилизаторов

Радикальным способом сокращения продолжительности процесса стабилизации является *повышение температуры стабилизируемого осадка*. Повышение температуры на 10 °С в 2 раза сокращает потребную продолжительность стабилизации [37].

Перспективной считается технология аэробной стабилизации активного ила и его смеси с сырым осадком с использованием *эффекта разогревания осадка при интенсивной аэрации*. Термофильная аэробная стабилизация, возможная при температуре 42–50 °С, обеспечивает значительное ускорение

процесса с сокращением периода аэрации до 2 суток, обеззараживание осадка, улучшение его седиментационных свойств и уменьшение потребления кислорода. Интенсифицировать процесс стабилизации в зимний период можно путем подачи в стабилизатор части сточных вод после осветления их в первичных отстойниках.

Одним из способов уменьшения необходимого объема стабилизатора является *повышение концентрации осадков*, которые стабилизируются. Доза активного ила, поступающего в стабилизатор, может быть увеличена до 20 г/л, а доза смеси ила и осадка – до 25–27 г/л. Необходимо учитывать, что предварительное гравитационное уплотнение активного ила продолжительностью более 5–6 ч приводит к резкому ухудшению водоотдачи стабилизированных осадков. Поэтому при аэробной стабилизации высококонцентрированных смесей необходимо использовать предварительное флотационное уплотнение избыточного активного ила или его смеси с сырым осадком до влажности 95–96 % [37].

В аэробных стабилизаторах наряду с пневматической может быть эффективно применена струйная система аэрации. При этом удельный расход кислорода принимается при стабилизации активного ила 0,25–0,3 кг, а сырого осадка из первичных отстойников 1–1,2 кг на 1 кг беззольного вещества [37].

На многих действующих очистных сооружениях аэробные стабилизаторы используются как реакторы-смесители. Их работу можно интенсифицировать, переводя в режим работы реактора-вытеснителя. Для этого объем стабилизатора делится на коридоры с таким расчетом, чтобы отношение их общей длины к ширине было не менее 20, или на секции (4 и более), как при секционировании отстойников.

Если уплотнители стабилизированного осадка расположены отдельно от стабилизаторов, целесообразно осуществлять постоянную *рециркуляцию осадка*, как в системе аэротенк – вторичный отстойник. При этом коэффициент рециркуляции должен быть не менее одного. Такой технологический прием интенсифицирует процесс стабилизации и улучшает водоотдающие свойства стабилизированного осадка.

### **7.2.2 Интенсификация работы метантенков**

Важными элементами анаэробной обработки осадка и его утилизации являются получение и использование биогаза, что обеспечивает использование вторичных ресурсов и является энергосберегающей технологией.

При правильной организации работ по получению и утилизации биогаза на очистных сооружениях реально покрыть до 75 % собственных энергетических затрат.

*Основные задачи интенсификации метанового сбраживания:*

– 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.

Следует отметить, что одновременное решение перечисленных задач, как правило, невозможно, поэтому необходимо сначала четко определить цель интенсификации.

К основным **способам интенсификации работы метантенков** относятся:

– повышение температуры сбраживания;

– повышение концентрации сбраживаемых осадков;

– переход на непрерывную загрузку и разгрузку осадка;

– улучшение перемешивания осадка;

– двух- и многоступенчатое сбраживание;

– увеличение концентрации анаэробных микроорганизмов.

**Повышение температуры сбраживания.** Наиболее влияющим и определяющим параметром процесса анаэробного сбраживания является температура сбраживания. Работа существующих сооружений анаэробного сбраживания может быть интенсифицирована за счет повышения температуры, то есть переводом мезофильного режима сбраживания в термофильный (53–55 °С). При этом процесс ускоряется в два раза. Соответственно, в два раза увеличиваются доза загрузки метантенков и пропускная способность метантенков. При термофильном сбраживании достигается более полная дегельминтизация осадков, но такой режим требует больших затрат энергии для подогрева метантенков. Необходимо учитывать, что после термофильного сбраживания несколько ухудшается влагоотдача осадков.

**Повышение концентрации сбраживаемых осадков.** При сбраживании более концентрированных осадков можно обеспечить необходимое время сбраживания при меньшем объеме метантенков, так как увеличивается концентрация метанобразующих бактерий и биохимические процессы начинаются и протекают быстрее. Для этого перед поступлением в метантенки осадок должен уплотняться.

Для интенсификации работы существующих метантенков можно применить *предварительное уплотнение осадка* путем использования гравитационных, флотационных уплотнителей, центрифугирования. При уплотнении избыточного активного ила сравнительно простым и дешевым способом является флотация.

**Переход на непрерывную загрузку и разгрузку осадка.** Повышение эффективности процесса метанового сбраживания может быть обеспечено

регулярной загрузкой свежего осадка и выгрузкой сброженного, что поддерживает соотношение беззольного вещества и микроорганизмов по возможности более стабильным и, таким образом, позволяет избежать внезапных изменений в развитии микроорганизмов.

Для интенсификации процесса анаэробного сбраживания может применяться **предварительная обработка осадков физическими и химическими методами**. *Пастеризация* осадка в течение нескольких часов при температуре 85–95 °С увеличивает скорость процесса обработки на 15 %. *Стерилизация* осадков перед сбраживанием в течение 15–20 минут при температуре 100–120 °С сокращает время сбраживания на 30 %, однако выход биогаза не увеличивается [30].

При предварительной обработке осадков сточных вод с концентрацией сухого вещества 1–2 % раствором щелочи NaOH дозой 20 и 40 мг-экв/л, время сбраживания сокращается, а выход биогаза увеличивается в 2 раза.

Интенсифицировать процесс анаэробного сбраживания позволяет **добавление ферментов**, гормонов и стимуляторов роста (тестостерон, фитостерон, витамин группы Д). При добавке спорообразующих бактерий выход биогаза увеличивается до 70 % [30].

Для интенсификации процесса анаэробного сбраживания осадков сточных вод с целью повышения эффективности образования биогаза и уменьшения объема реактора может быть использован 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 **совершенствование системы перемешивания** осадка в метантенках. Перемешивание обеспечивает:

- поддержание равномерности распределения подаваемого осадка в объеме сооружения и его постоянный контакт с биомассой;
- поддержание на низком уровне концентрации продуктов распада благодаря их равномерному распределению в объеме;
- однородность среды по температуре, концентрации элементов питания, что создает наилучшие условия для развития бактерий;
- достаточно эффективное перемещение токсичных веществ внутри системы, что уменьшает их влияние на процесс сбраживания;
- эффективное использование всего объема метантенка, исключая образования мертвых зон;
- предотвращение образования корки на поверхности осадка.

С помощью перемешивания можно увеличить выход биогаза на 20 % [30].

*Перемешивание ила в метантенке может осуществляться несколькими способами (рисунок 7.3):*

- гидроэлеваторами, в которых рабочей жидкостью служит осадок, подаваемый насосом из нижней зоны метантенка;
- пропеллерными мешалками (в вертикальном направлении), которые размещаются в центральной трубе в середине метантенка;
- насосами без гидроэлеваторов;
- рециркуляцией газов брожения при помощи компрессоров;
- при помощи устройств для подогревания осадка (паровыми инжекторами).

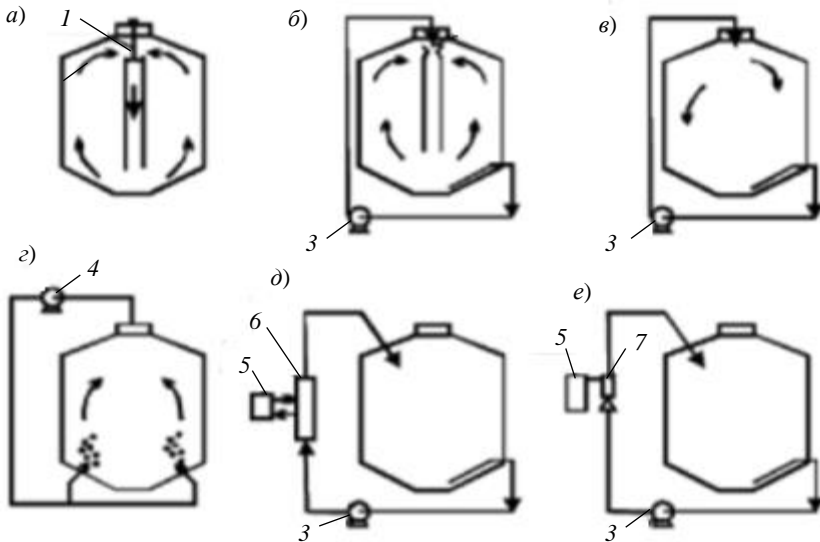


Рисунок 7.3 – Способы перемешивания осадка в метантенках:

*a* – механической мешалкой; *б* – гидроэлеватором; *в* – насосом; *г* – рециркуляцией биогаза; *д* – насосом, подающим осадок через теплообменник; *е* – насосом, подающим осадок через паровой инжектор; *1* – механическая мешалка в центральной трубе; *2* – гидроэлеватор в устье центральной трубы; *3* – насос; *4* – компрессор; *5* – теплогенерирующая установка; *6* – теплообменник; *7* – паровой инжектор

Использование механических мешалок для перемешивания биомассы в метантенке достаточно эффективно в небольших реакторах при переработке тяжелых субстратов. Если используются субстраты с малой вязкостью, содержащие мало веществ, склонные к осаждению или образованию плавающей корки, то механические перемешивающие устройства применяются и в относительно крупных реакторах.



При гидравлическом способе перемешивания забор жидкости осуществляется с поверхности массы и нагнетается в более глубокие слои. Содержимое крупных реакторов, особенно цилиндрической формы, перемешивается с помощью потоков (струй) жидкости, поступающей в реактор.

Отличие гидравлических способов заключается в способе нагнетания. Наиболее простым способом является непосредственное перекачивание насосом (рисунок 7.4, *а*).

Более сложные конструкции оборудованы выносными циркуляционными трубами, в которых установлены мешалки (рисунок 7.4, *б*).

Распространены также газовые способы, когда часть выработанного газа откачивается из реактора, сжимается компрессором и нагнетается в аппарат для организации барботажа. Газ может нагнетаться через дно, боковую стенку или купол.

Каждый из этих способов имеет определенные недостатки. При размещении форсунок в дне резервуара или в нижней части боковой стенки (рисунок 7.4, *в*) невозможным представляется их ремонт и замена без остановки и осушения реактора. При верхнем размещении оборудования (рисунок 7.4, *г*) утяжеляется купол и усложняется его демонтаж.

Газовые способы являются наиболее эффективными, потребление энергии при этом меньше, чем у гидравлических устройств.

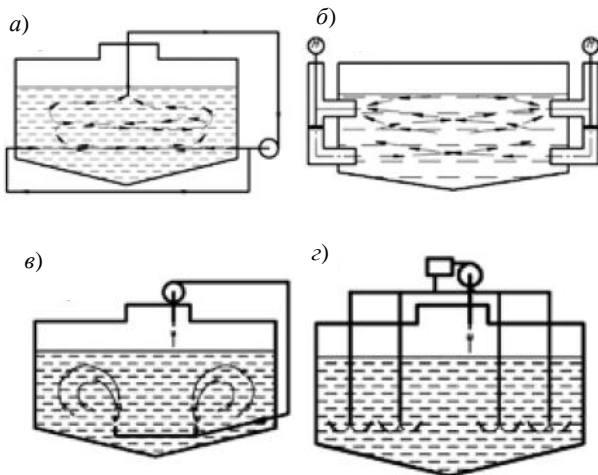


Рисунок 7.4 – Конструкции метантенков с различными системами гидравлического перемешивания:

*а* – с простым механическим перемешиванием; *б* – с выносными циркуляционными трубами; *в* – с газовым перемешиванием и нижним размещением форсунок; *г* – с газовым перемешиванием и верхним размещением форсунок

Повысить эффективность анаэробного сбраживания можно за счет **многоступенчатого сбраживания**, в основе которого лежит разделение процесса:

– на *стадию интенсивного брожения* с бурным выделением биогаза (I ступень);

– *стадию затухания процесса*, на которой прекращается газовыделение, осуществляется расслоение осадка и отделение иловой воды (II ступень).

При этом содержание влаги в сброженном осадке при температуре 30–33 °С несколько снижается, но степень деструкции осадка и выход газа не изменяются [30].

Вторая ступень процесса может происходить в открытых железобетонных резервуарах, которые не оснащены системами перемешивания и обогрева, что значительно сокращает 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** (рисунок 7.5), основанное на том, что кислото- и метанообразующие микроорганизмы отличаются по своим физиологическим характеристикам и имеют разные требования к условиям среды существования.

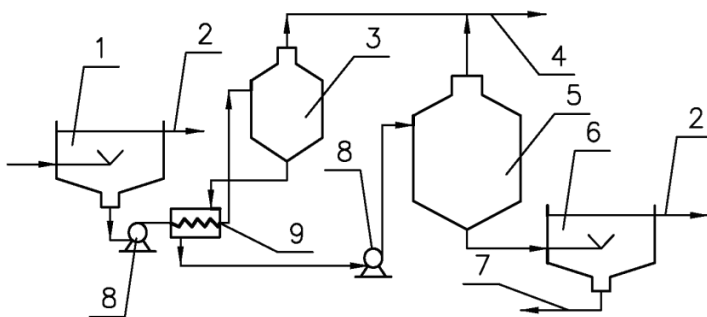


Рисунок 7.5 – Схема фазового разделения [30]:

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

При раздельном культивировании обеих групп бактерий и создании в каждом реакторе оптимальных условий их развития повышается активность кислото- и метанообразующих бактерий.

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. В реакторе с метановой фазой (II фаза), которая характеризуется более

продолжительным пребыванием осадка, происходит максимальное преобразование образованных летучих жирных кислот в метан.

Время пребывания осадка в реакторе I фазы брожения колеблется в границах от 10 ч до 2 суток, а общая продолжительность процесса – 3–5 суток в зависимости от температуры брожения в каждой фазе [30].

Существует 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 составляет 700 л на 1 г 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. Для этого применяются 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;
- повышение метаболической активности микроорганизмов за счет развития специфических видов, приспособленных к условиям фазового разделения;
- сброженный осадок характеризуется лучшей влагоотдачей, что снижает затраты на дальнейшую его обработку.

Основные направления интенсификации работы метантенков приведены в таблице 7.5.

Количество биогаза, образующегося при сбраживании осадка, зависит от состава осадка и на разных очистных сооружениях колеблется в значительных пределах. В среднем выход газа на 1 м<sup>3</sup> загружаемой смеси осадка и ила составляет около 12 м<sup>3</sup>. Теплота сгорания и количество биогаза зависят от его состава, то есть от содержания основного компонента – метана и составляет 21–25 МДж/м<sup>3</sup>. С 1 м<sup>3</sup> биогаза можно получить до 2 кВт·ч электроэнергии и до 6 кВт·ч тепловой энергии в отопительно-промышленных котельных.

В городах Америки, Японии, Германии и других развитых странах от 75 до 100 % энергозатрат канализационных очистных сооружений компенсируются за счет утилизации биогаза [25].

Таблица 7.5 – Методы интенсификации работы метантенков [30]

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Мезофильный и термофильный режим</i>		
Удаление грубо-дисперсных примесей	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Облегчение эксплуатации оборудования и арматуры. Увеличение удельного выхода газа. Углубление распада органических веществ
Усовершенствование системы перемешивания	Замена системы перемешивания осадка в метантенках	Снижение энергозатрат. Повышение эффективности использования объема сооружений
Использование биодобавок	Обустройство узла дозирования биодобавок	Создание оптимальных условий жизнедеятельности микроорганизмов. Увеличение глубины распада органических веществ и удельного выхода газа
Предварительное сгущение осадков	Оборудование узла предварительного сгущения осадков – модифицированными радиальными уплотнителями с системой перемешивания; – рукавными фильтрами; – центрифугами-сгустителями	Более эффективное использование рабочего объема метантенков. Увеличение удельного выхода биогаза
<i>Мезофильный режим</i>		
Первичная дегельминтизация	Обустройство узла тепловой дегельминтизации осадков	Снижение энергозатрат на сбраживание осадков
<i>Термофильный режим</i>		
Утилизация тепла сброженных осадков	Установка теплообменного оборудования для подогрева поступающих осадков за счет тепла сброженных осадков	Снижение энергозатрат
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
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

### 7.2.3 Аэробно-анаэробные и анаэробно-аэробные процессы стабилизации

Одним из направлений стабилизации осадков сточных вод является комбинация аэробно-анаэробных процессов (рисунок 7.6).

*Преимущества* аэробно-анаэробной стабилизации: достижение необходимой степени стабилизации и обеззараживания осадков, улучшении свойств отдавать влагу, уменьшение объема сооружений, получение биогаза.

*Недостатки* технологии: высокая трудоемкость и большие эксплуатационные расходы по сравнению с одноступенчатым сбраживанием.

Предварительная аэробная обработка осадка на протяжении 0,5–2 сут перед анаэробным сбраживанием снижает концентрацию органических веществ и тем самым нагрузку на вторую анаэробную ступень стабилизации. В результате метаболической активности аэробных микроорганизмов происходит выделение значительного количества тепловой энергии, что приводит к повышению температуры в аэробном реакторе.

Для поддержания температуры аэробный реактор должен быть закрытым и иметь соответствующую теплоизоляцию. Рекомендуемые параметры работы схемы анаэробно-аэробных стабилизации приведены в таблице 7.6.

Для подачи воздуха в аэробный реактор могут применяться механические, пневмомеханические и струйные аэраторы.

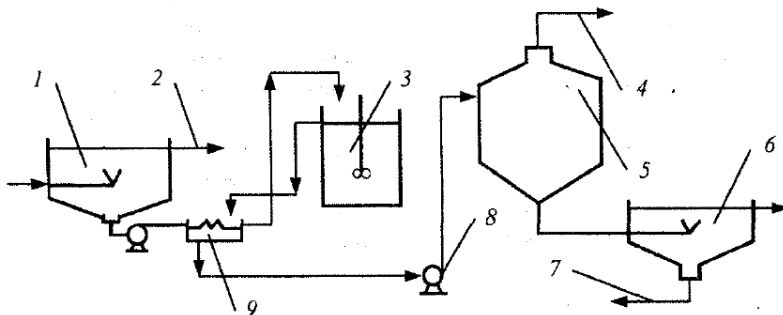


Рисунок 7.6 – Схема аэробно-анаэробной стабилизации [37]:

- 1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – иловая вода; 3 – аэробный реактор; 4 – биогаз;  
5 – анаэробный реактор; 6 – уплотнитель сброженного осадка; 7 – сброженный осадок;  
8 – насос; 9 – теплообменник

Таблица 7.6 – Рекомендуемые параметры работы схемы анаэробно-аэробных стабилизации

Ступень	Продолжительность, сут	Температура, °С	Снижение концентрации органических веществ, %
I аэробная	0,5	55	8
II анаэробная	8,0	35	35

Удовлетворительные результаты по обеззараживанию осадков и улучшению способности отдавать воду обеспечивает и анаэробно-аэробная технология (рисунок 7.7).

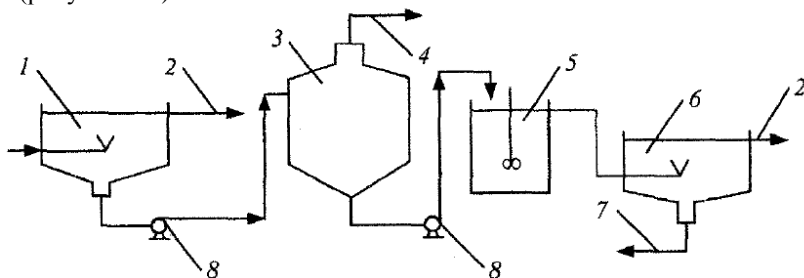


Рисунок 7.7 – Схема анаэробно-аэробной стабилизации осадка [37]:

1 – уплотнитель сырого осадка; 2 – иловая кода; 3 – анаэробный реактор; 4 – биогаз; 5 – аэробный реактор; 6 – уплотнитель сброженного осадка; 7 – сброженный осадок; 8 – насос

В реакторе I ступени на протяжении 3–20 сут обеспечивается анаэробный мезофильный процесс, в реакторе II ступени – дальнейшее аэробное разложение органического вещества с выделением тепла и саморазогреванием до 50 °С. Аэробная стабилизация осуществляется на протяжении 3–4 сут.

## 7.3 Интенсификация обезвоживания осадков сточных вод

### 7.3.1 Механическое обезвоживание

Осадки, образующиеся на очистных сооружениях населенных мест, характеризуются весьма низкими показателями водоотдачи, что затрудняет применение интенсивных процессов для их обезвоживания.

Для подготовки осадков к обезвоживанию применяются как реагентные, так и безреагентные методы *кондиционирования*.

Основные направления интенсификации кондиционирования осадков сточных вод приведены в таблице 7.7.

Одним из направлений интенсификации работы цехов механического обезвоживания является применение **ленточных сгустителей** для начального этапа обезвоживания. Принцип их работы заключается в удалении воды из сфлукулированного осадка под действием естественной силы гравитации. Они дешевле и проще в эксплуатации, чем центрифуги или ленточные фильтр-прессы.

При реконструкции цехов механического обезвоживания в традиционных ленточных фильтр-прессах в начале процесса выделяется зона, в которой значительная часть свободной воды, содержащейся в осадке, удаляется под действием силы тяжести, что позволяет интенсифицировать работу аппарата. Ленточный сгуститель может использоваться и как самостоятельный аппарат для сгущения активного ила.

Используя ступитель, важно учитывать водоотводящие свойства подаваемого на них осадка. Для активного ила водоотдающие свойства зависят от его естественной флокуляции, связанной с концентрацией в иле биофлокулянтов. Наилучшие водоотдающие свойства могут быть достигнуты либо при определенном сочетании возраста ила и времени аэрации непосредственно в аэротенке, либо при необходимой аэробной обработке избыточного ила вне аэротенка.

Таблица 7.7 – Интенсификация кондиционирования осадков сточных вод [30]

Сооружения и оборудование	Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Термическое</i>			
Система теплообменников «труба в трубе» и реакторов	Улучшение теплопередачи	Замена теплообменного оборудования на более мощное	Снижение энергозатрат
	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
<i>Химическое</i>			
Реагентное хозяйство с использованием извести и хлорного железа	Применение современных коагулянтов	Переоборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Снижение эксплуатационных затрат. Улучшение условий труда. Возможность использования современного оборудования для механического обезвоживания осадков
	Оборудование узла приготовления и дозирования флокулянта	Применение флокулянтов	Снижение эксплуатационных затрат. Уменьшение производственных площадей, занятых под реагентное хозяйство. Возможность использования современного оборудования для механического обезвоживания осадков

В дополнительной обработке после аэротенков нуждается ил от средне- и высоконагружаемых процессов. При низконагружаемых процессах (нитрификации и денитрификации) ил может быть обработан без дополнительной подготовки. При оптимизации аэробного кондиционирования за счет образования биофлокулянта доза внесения искусственных полимерных флокулянтов может быть снижена в 1,5–2 раза. Учитывая высокую стоимость полимерных флокулянтов, внедрение технологии с оптимальной подготовкой ила к сгущению экономически выгодно, т. к. имеет короткий срок окупаемости.

Для небольших очистных сооружений (при производительности 1000–5000 м<sup>3</sup>/сут) активный ил может быть сгущен до влажности 92–94 %. Объем избыточного активного ила может быть уменьшен в 10 раз. Площадь иловых площадок может быть значительно сокращена, в частности, можно перейти к устройству крытых карт. При этом значительно упрощается эксплуатация и происходит разгрузка очистных сооружений по оборотным загрязнениям, поступающим с дренажной водой.

Для крупных очистных станций возможна реконструкция существующих илоуплотнителей для аэробной предварительной подготовки ила, его краткого уплотнения, а в некоторых случаях и выделения буферной емкости для сбора сгущенного ила.

Ленточные сгустители целесообразно применять на станциях очистки, использующих современные технологии очистки воды с биологическим удалением биогенных элементов и не имеющих первичных отстойников.

Основные направления интенсификации работы оборудования механического обезвоживания осадков сточных вод приведены в таблице 7.8.

**Таблица 7.8 – Методы интенсификации механического обезвоживания осадков сточных вод [30]**

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Камерные фильтры-прессы</i>		
Замена аппаратов на более эффективные	Замена камерных фильтр-прессов на аппараты большей производительности	Улучшение условий труда. Уменьшение эксплуатационных затрат
<i>Ленточные фильтр-прессы</i>		
Интенсификация процесса кондиционирования осадков	Работы, которые выполняются в соответствии с выбранным методом	Снижение влажности кека. Улучшение условий труда
Удаление грубодисперсных примесей из осадка	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Повышение производительности оборудования. Улучшение условий труда
<i>Центрифуги</i>		
Удаление грубодисперсных примесей из осадка	Установка процеживателей жидкого осадка и шнековых прессов	Повышение производительности оборудования. Улучшение условий труда



### Окончание таблицы 7.8

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
Модернизация процесса кондиционирования осадка	Работы, соответствующие выбранному методу	Снижение эксплуатационных затрат. Снижение нагрузки на сооружения биологической очистки
Модернизация оборудования	Замена центрифуг на более современные	Уменьшение объема кека. Снижение влажности кека

Если на станциях применяется первичное отстаивание, то при переходе к технологии с удалением биогенных элементов рационально разделить потоки избыточного ила и осадка. При этом активный ил подается на кратковременное уплотнение, а затем на ленточные сгустители. Сырой осадок рационально подвергнуть анаэробному сбраживанию.

Возможна также схема со смешиванием избыточного активного ила с анаэробно сброженным осадком непосредственно перед сгустителем.

В таком случае можно добиться сгущения смеси на сгустителе до 92–93 %, что позволит значительно повысить производительность оборудования последующего механического обезвоживания. Наиболее рациональна комбинация сгустителя с ленточными или камерными фильтр-прессами.

### 7.3.2 Реконструкция иловых площадок

Основной причиной неудовлетворительной работы иловых площадок является некачественная предварительная стабилизация осадков. Подача нестабильного осадка приводит к его загниванию на иловых площадках, что еще больше ухудшает влагоотдачу и приводит к образованию слоя загрязнений, который всплывает на поверхность. Этот слой мешает удалению воды и усложняет испарение влаги. Плохая водоотдача хорошо стабилизированных осадков может быть следствием нарушения режимов стабилизации или неправильного выбора самой технологии стабилизации. Прямая зависимость между значением удельного сопротивления осадка и эффективностью работы иловых площадок подтверждается опытом эксплуатации многих очистных сооружений. Со снижением удельного сопротивления осадка улучшаются процессы фильтрации жидкости через слой осадка и удаление ее через дренаж, повышается эффективность удаления воды с поверхности осадка (декантация), увеличивается скорость испарения влаги со свободной поверхности осадка. Таким образом, улучшение влагоотдачи может быть достигнуто при использовании следующих методов: реагентной, тепловой и радиационной обработки, замораживания и размораживания, наложения внешнего электромагнитного поля, введения присадок.

Одним из способов улучшения влагоотдачи уплотненного аэробно стабилизированного осадка является его аэрация на протяжении 0,5–1,5 ч перед подачей на иловые площадки.

Аэрация с интенсивностью  $1-2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  восстанавливает функциональные возможности аэробных бактерий стабилизированного осадка, предотвращает развитие анаэробных процессов в период его пребывания на иловой площадке. В этом случае производительность иловых площадок увеличивается в 1,4–2,0 раза.

Возможна флотационная обработка осадков перед обезвоживанием, которую рекомендуется осуществлять по схеме флотации с рециркуляцией рабочей жидкости при коэффициенте рециркуляции 4–6 и давлении насыщения рабочего раствора воздухом 0,3–0,4 МПа.

Работу иловых площадок можно интенсифицировать предварительным промыванием очищенной водой плохо фильтруемых осадков. При этом достигается увеличение нагрузки на иловые площадки на 70 %. Технология промывания анаэробно сбреженных осадков может быть такой же, как и при подготовке их к механическому обезвоживанию.

Применяя технологию замораживания-оттаивания, необходимо соответствующим образом организовать эксплуатацию иловых площадок. В зимний период подача осадка на иловые площадки должна обеспечивать послойное его нагораживание на картах так, чтобы весь слой накопленного за зиму осадка был хорошо проморожен. В случае сильных снегопадов необходимо удалять снег с поверхности намороженного осадка, что ускорит его промерзание на всю глубину,

В процессе весеннего оттаивания осадка на поверхности иловых площадок образуется слой относительно чистой воды (около 80 % объема намороженного осадка), которая должна быть удалена за границу площадки как можно быстрее. При длительном контакте осадка с талой водой в нем увеличивается количество связанной воды, что ухудшает его дальнейшее подсыхание. Для быстрого и равномерного удаления влаги иловые площадки должны иметь водоотводные колодцы с водосливом переменного уровня, которые устраивают по периметру карт на расстоянии 30–50 м один от другого.

При больших значениях удельного сопротивления осадков, подаваемых на иловые площадки, основная часть воды удаляется выпариванием. Чем выше будет скорость выпаривания с открытой поверхности, тем тоньше слой напуска. Чем хуже фильтруются осадки, тем быстрее происходит кольматация дренающего основания вследствие большого содержания в таких осадках тонкодисперсных и коллоидных частиц. При высокой способности осадков отдавать влагу происходит фильтрация через слой осадка, который откладывается на основании, а основание играет роль поддерживающей и водоотводящей среды. При многократных напусках осадков на иловые карты обезвоживание происходит в основном за счет испарения. С учетом этого

целесообразно, особенно летом, подсушивать такие слои осадка. Чтобы ускорить процесс естественной сушки осадка в теплое время года, целесообразно его рыхление.

Для поддержания высокой пористости основания при каждом удалении обезвоженного осадка рекомендуется снимать вместе с осадком верхний слой песка дренирующего основания. Перед новой подачей осадка на иловую площадку основание обновляется путем досыпания тонкого слоя песка.

Одно из направлений реконструкции иловых площадок – это усовершенствование дренажных систем. Новые конструкции иловых площадок имеют обычно дренаж вертикального типа, обеспечивающий удаление воды фильтрацией со всего слоя осадка, который находится на площадке.

Иловая площадка на водонепроницаемом основании имеет вертикальный дренаж, состоящий из двух стенок с отверстиями, и размещенный между ними фильтрующий слой с щебнем и гравием. Боковые стенки могут быть выполнены из перфорированных плит или блоков, пористого бетона. В качестве дренажных элементов используются простые плиты, которые устанавливаются на поддерживающий каркас под наклоном. Пространство между плитами используется для отведения профильтрованной воды к сборному желобу. В качестве фильтрующих элементов вертикального и горизонтального дренажей можно использовать фильтростеклопластиковые трубы, которые применяют в водозаборных скважинах. Вертикальные фильтрующие элементы из таких труб дополнительно покрывают фильтрующим материалом и присоединяют к трубопроводам горизонтальной дренажной системы. Горизонтальный дренаж состоит из фильтра стеклопластиковой трубы, отсортированной гравийной загрузки и перфорированного пластикового воздуховода, используемого для периодической продувки дренажа, и слоя осадка. После продувок при повторных напусках осадка скорость фильтрования остается довольно высокой.

При эксплуатации подобных иловых площадок особое внимание необходимо обратить на режим напуска осадка. Размеры карт должны быть такими, чтобы их заполнение происходило не более чем за сутки. При подаче аэробно стабилизированного активного ила с влажностью 98 % высота напуска может быть 0,8–1,0 м. В этом случае большая часть влаги отводится через вертикальный дренаж. При подаче анаэробно сброженного осадка высота слоя напуска рекомендуется 0,4–0,8 м при первом напуске и 0,05–0,1 м при последующих.

Нагрузка на иловые площадки, оборудованные системами вертикального и горизонтального дренажа, может составлять 5,0–5,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год. При предварительной обработке осадка катионным флокулянтom с дозой 0,05–0,1 % нагрузка на иловые площадки может составлять до 7,0–7,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год.

В таблице 7.9 приведены основные методы интенсификации обезвоживания на иловых площадках.

Таблица 7.9 – Методы интенсификации обезвоживания осадков сточных вод на иловых площадках [30]

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
<i>Иловые площадки на естественном основании без дренажа</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Оборудование узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Использование покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Реконструкция	Строительство искусственного покрытия и дренажа	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшение экологического состояния и освоение земли
<i>Иловые площадки на естественном основании с дренажом</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Строительство узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Использование покрытия над иловыми площадками	Установка покрытия	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Реконструкция	Замена системы дренажа с использованием современных материалов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Переход на механическое обезвоживание	Строительство цеха механического обезвоживания осадка	Улучшении экологического состояния в районе очистных сооружений. Освобождение земли
<i>Иловые площадки на искусственном основании с дренажом</i>		
Реагентное кондиционирование осадков	Строительство узла приготовления и дозирования реагентов	Увеличение нагрузки на иловые площадки
Промывка дренажа	Монтаж системы промывки дренажа	Увеличение срока службы дренажа
Замена дренажа	Применение современной, оборудованную горизонтальным и вертикальным дренажем из полимерных труб	Увеличение производительности иловых площадок. Уменьшение нагрузки на сооружения биологической очистки
Вакуумирование дренажной системы и обеспечение ее регенерации путем продувки сжатым воздухом	Установка вакуумно-нагнетательной установки	Увеличение нагрузки на иловые площадки

### Окончание таблицы 7.9

Направление интенсификации	Способ реализации	Ожидаемый эффект
Реконструкция	Оборудование механического перемешивания и уборки обезвоженного осадка	Увеличение нагрузки на иловые площадки

#### 7.3.3 Обезвоживание осадков сточных вод в контейнерах *Geotube*

В связи с тем, что иловые площадки являются источником запаха и потенциальным источником загрязнения атмосферы и грунтовых вод, поиск решения данной проблемы является одним из приоритетных направлений экологически безопасного размещения осадков сточных вод.

В основе технологии статического обезвоживания осадка в контейнерах *Geotube* (замкнутых крупноразмерных геосинтетических оболочках) лежит принцип разделения частичек смеси методом гравитационного осаждения. В настоящее время данная технология зарекомендовала себя положительно и приобретает все большую популярность, так как позволяет избежать чрезмерных расходов и обеспечить улучшение экологической обстановки.

По классификации данные изделия можно отнести к подклассу «Геосинтетические оболочки» класса «Геосинтетические материалы». Они представляют собой полимерные тканые шивные геосинтетические замкнутые фильтрующие оболочки технического назначения.

Использование контейнеров из геотекстиля является эффективным вариантом обезвоживания на месте, требует ограниченного набора специального оборудования, характеризуется низкими капитальными затратами и эксплуатационными расходами.

Геотубы (*Geotube*) – это объемные цилиндрические системы (контейнеры), изготовленные из долговечного, высокопрочного, кислотостойкого тканного геотекстиля (пропилена, полиэстерового текстиля, полиэтилена).

Основные преимущества данной технологии:

- отсутствие необходимости механического обезвоживания;
- свойства материала ткани позволяют быстро пропускать воду и задерживать твердые частицы;
- в ходе эксплуатации не требуются затраты на запчасти и фильтровальные ткани;
- легкость монтажа и пусконаладки;
- себестоимость обезвоживания в геотубах на 20–30 % ниже, чем при аппаратурных процессах;
- передозировка или недостаток кондиционирующего реагента (флокулянта), сбой в подаче пульпы не оказывают существенного влияния на

конечные показатели обезвоживания из-за достаточного времени пребывания осадка в контейнере;

- оперативный монтаж и демонтаж производственной инфраструктуры любой мощности;

- производственной площадкой служит любой спланированный участок без необходимости строительства капитальных сооружений;

- простота и эстетичность технологического процесса, отсутствие сложных элементов;

- возможность обезвоживания сырья или отхода на месте утилизации, временного складирования или постоянного захоронения. Контейнеры могут быть уложены многослойно, что позволяет существенно экономить площадь;

- безостановочный режим процесса обезвоживания – до полного схода свободной воды на фоне биостабилизации и геоконсолидации твердой фазы;

- защищенность обезвоживаемых отходов от ветровой и водной эрозии;

- низкое энергопотребление для технологического процесса.

Сущность метода заключается в статическом обезвоживании, т. е. фильтрации жидкой фазы осадка через стенки геотуб-контейнеров из полимерной фильтрующей ткани, которые расположены на специально подготовленной дренажной площадке. Перед подачей в геотубы осадок обрабатывается специальными добавками:

- полимерным флокулянтom – для повышения эффективности фильтрации;

- стабилизатором – для подавления процесса гниения органической части;

- дезинфектантом – для подавления запаха и микрофлоры осадка; реагентом – для связывания солей тяжелых металлов.

Процесс статического обезвоживания осадка в контейнерах *Geotube* приведен на рисунке 7.8.

Пример размещения контейнеров на полигоне приведен на рисунке 7.9.

Реализация данной технологии позволит:

- ликвидировать угрозу возникновения аварийных ситуаций на иловых площадках с возможностью загрязнения почвы и воды;

- исключить вредное воздействие на окружающую среду;

- устранить неприятные запахи от складированного осадка;

- перераспределить складированный на полигоне осадок, минимизировав территорию его хранения. Данная технология позволит разместить осадок после его обработки на территории площадью порядка 10–15 % от участка, занимаемого в настоящее время;

- использовать обеззараженный, стабилизированный и обезвоженный грунт после геотуб для приготовления техногрунта.

		
1 стадия – заполнение	2 стадия – обезвоживание	3 стадия – уплотнение
Осадок подается в контейнер по системе пульпопровода. Для улучшения водоотдающих свойств осадок может быть обработан реагентом	Отфильтрованная вода просачивается сквозь стенки контейнера. Более 99% твердых частиц задерживаются внутри контейнера, а чистый фильтрат может быть собран и вновь использован в системе	Твердая фракция остается внутри контейнера

Рисунок 7.8 – Процесс статического обезвоживания осадка в контейнерах *Geotube*

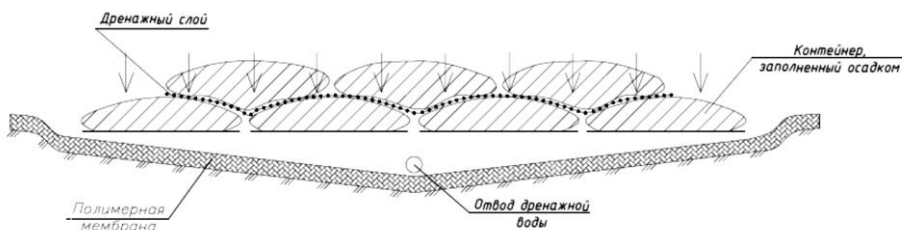


Рисунок 7.9 – Размещение контейнеров *Geotube* на полигоне

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Алексеев, В. И.** Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий : учеб. пособие / В. И. Алексеев, Т. Е. Винокурова, Е. А. Пугачев. – М. : АСВ, 2003. – 125 с.
- 2 **Ануфриев, В. Н.** Эксплуатация водозаборных скважин : метод. пособие / В. Н. Ануфриев. – Минск : БНТУ, 2002. – 24 с.
- 3 **Ануфриев, В. Н.** Технологии обработки осадков сточных вод / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2017. – № 6. – С. 83–89.
- 4 **Баженов, В. И.** Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод / В. И. Баженов, А. А. Денисов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 2. – С. 23–25.
- 5 **Благодарумова, А. М.** Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод : учеб. пособие. Ч.1. – Новокузнецк: Сиб ГИУ, 2010. – 139 с.
- 6 Водоотведение : учеб. / Ю. В. Воронов [и др.] – М. : АСВ, 2009. – 415 с.
- 7 Водный кодекс Республики Беларусь : 30 апреля 2014 г. № 149–З. с изм. и доп. – Минск, 2019. – 69 с.
- 8 Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016–2020 годы» : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.04.2016, № 326.
- 9 **Воловник, Г. И.** Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения населенных мест : учеб. пособие / Г. И. Воловник, Л. Д. Терехов. – Хабаровск: ДВГУПС, 2003. – 113 с.
- 10 **Гогина, Е. С.** Удаление биогенных элементов из сточных вод : [монография] / Е. С. Гогина. – М. : МГСУ, 2010. – 120 с.
- 11 Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы»: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.01.2021 № 50.
- 12 **Гуляева, И. С.** Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений / И. С. Гуляева // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 2. – С. 18–32.
- 13 **Данилович, Д. А.** Справочник наилучших эффективных технологий (Базовые материалы). Раздел: Водоотведение. Подраздел: Очистные сооружения канализации / Д. А. Данилович. – М., 2015. – 226 с.
- 14 **Данилович, Д. А.** Справочник наилучших эффективных технологий (Базовые материалы). Раздел: Водоотведение. Подраздел: Сети и сооружения для транспортировки сточных вод / Д. А. Данилович. – М., 2015. – 125 с.
- 15 **Данилович, Д. А.** Справочник наилучших эффективных технологий (Базовые материалы). Раздел: Водопроводные сети, сооружения и оборудование / Д. А. Данилович. – М., 2015. – 105 с.



16 **Данилович, Д. А.** Справочник наилучших эффективных технологий (Базовые материалы). Раздел: Водозаборы. Сооружения водоподготовки / Д. А. Данилович. – М., 2015 г – 111 с.

17 **Долина, Л. Ф.** Очистка сточных вод от биогенных элементов : [монография] / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2011. – 198 с.

18 **Журавлева, И. В.** Реконструкция инженерных сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / И. В. Журавлева. – Воронеж, 2011. – 146 с.

19 **Конон, О. А.** Основные направления реализации государственной политики в области водоснабжения и канализации. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы. Подпрограмма «Чистая вода» // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 6–7.

20 Методика выбора и контроля эффективности способа обеззараживания сточных вод для обеспечения безопасности поверхностных водоемов, используемых в рекреационных целях : инструкция по применению : утв. Главным государственным санитарным врачом Респ. Беларусь от 24 ноября 2009 г. № 065–1109. – Минск, 2009. – 24 с.

21 **Мишнева, С. К.** Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения: учеб.-метод. пособие / С. К. Мишнева – Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 60 с.

22 **Новикова, О. К.** Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. Пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. И коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. Гос. Ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.

23 **Новикова, О. К.** Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.

24 **Новикова, О. К.** Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / О. К. Новикова – Гомель : БелГУТ, 2018. – 206 с.

25 Обработка осадка сточных вод: полезный опыт и практические советы. Издатель и авторское право 2012: Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) через Комиссию по окружающей среде Союза балтийских городов, Vanha Suurtori 7, 20500 Turku, Finland (Финляндия). – 125 с.

26 О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26.05.2017 № 16. – Минск, 2017. – 15 с.

27 Правила пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 30 сентября 2016 г. № 788. – Минск, 2016. – 24 с.

28 П1-2019 к ТКП 45–4.01–320–2018. Проектирование сооружений водоподготовки. – Введ. 2020-01-01 – Минск, 2020. – 133 с.

29 П1-2019 к ТКП 45–4.01–321–2018. Проектирование очистных сооружений сточных вод. – Введ. 2020-01-01 – Минск, 2020. – 123 с.

30 Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / А. А. Василенко [и др.]– Киев, 2008. – 307 с.

31 **СанПиН 10-124 РБ 99.** Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 46. – Минск, 2011. – 50 с.

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

33 СН 4.01.01–2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 85 с.

34 СН 4.01.02–2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

35 Состояние загрязнения поверхностных и подземных вод в Республике Беларусь / Г. А. Щербаков [и др.] // Строительство и недвижимость – 2000. – № 49. – С. 18–32.

36 СТБ 17.06.02–03–2015 Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений. – Минск : Госстандарт, 2015. – 33 с.

37 **Татура, А. Е.** Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / А. Е. Татура. – Ижевск : ИжГТУ, 2003. – 178 с.

38 Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Б. Г. Мишуков [и др.]. – СПб. : Вода: технология и экология, 2008. – 144 с.

39 ТКП 17.06.08–2012. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. – Введ. 2012-06-29 – Минск : Минприроды, 2012. – 73 с.

40 **Туровский, И. С.** Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И. С. Туровский. – М. : Делипринт, 2008. – 375 с.

41 **Шевелев, Ф. А.** Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – 10-е изд., доп. – М. : БАСТЕТ, 2014. – 381 с.

42 ЭкоНип 17.01.06–001–2017 Экологические нормы и правила Республики Беларусь. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: утв. пост. Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5–Т. – Минск, 2017. – 244 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Основные характеристики реагентов [28]

Наименование продукта, химическая формула основного вещества	Агрегатное состояние товарного продукта	Плотность/насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание действующего вещества в продукте
Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	Гранулы, порошок	1050–1100	15–16 % в пересчете на $Al_2O_3$
Хлорид алюминия $AlCl_3$	Раствор	1300	$Al^{3+}$ – 58–60 г/кг
Смесь хлоридов алюминия и железа (III) $AlCl_3 + FeCl_3$	Раствор	1150	$Al^{3+}$ – 19 г/кг, $Fe^{3+}$ – 10 г/кг
Сульфат алюминия и железа (III) $[Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3] \cdot nH_2O$	Гранулы	950	$Al^{3+}$ – 82 г/кг, $Fe^{3+}$ – 10 г/кг
Хлорид железа (II), $FeCl_2$	Раствор	1240–1370	$Fe^{3+}$ – 86–135 г/кг
Хлорид железа (III), $FeCl_3$	Раствор	1410–1430	$Fe^{3+}$ – 135–138 г/кг
Хлорид сульфат железа (III) $FeClSO_4$	Раствор	1430–1520	$Fe^{3+}$ – 123 г/кг
Купорос железный технический (сульфат железа (II)), $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Гигроскопичные гранулы, порошок	1000	$Fe^{2+}$ – 178–195 г/кг
Сульфат железа (III) $Fe_2(SO_4)_3$	Раствор	1500	$Fe^{3+}$ – 118 г/кг
Известь $Ca(OH)_2$	Порошок	450	$Ca^{3+}$ – 376 г/кг
Известковое молоко (20 %) $Ca(OH)_2$	Суспензия	1150	$Ca^{3+}$ – 75 г/кг
Алюминат натрия $NaAl(OH)_4$	Раствор	1300–1500	$Al^{3+}$ – 62–105 г/кг
Полиалюминат гидроксид хлорид $[Al(OH)_3 \cdot xCl_x]_n$	Раствор	1200–1370	$Al^{3+}$ – 70–90 г/кг
Полиалюминат гидроксид хлорид сульфат $Al_x(OH)_y \cdot Cl_z(SO_4)_k$	Раствор	1400	$Al^{3+}$ – 52–90 г/кг
Полиакриламид технический, сополимер амида и солей акриловой кислоты $(CH_2 - N(CONH_2))_n$	Гелеобразная вязкая масса	1030	5–6 %
Стекло натриевое жидкое (метагликат натрия технический) $Na_2SiO_3$	Раствор	1360–1500	24,8–36,7 % по $SiO_2$

Наименование продукта, химическая формула основного вещества	Агрегатное состояние товарного продукта	Плотность/насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание действующего вещества в продукте
Тиосульфат натрия кристаллический $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Порошок, гранулы	1350	98,0–98,5 %
Уголь активный АГ-3, Уголь активный древесный дробленый	Порошок, гранулы	400–550	
Калий марганцовокислый (перманганат калия) $\text{KMnO}_4$	Порошок, гранулы	1300–1600	99, –99,5 %
Сульфат меди (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Порошок, гранулы	1180	93,1–99,1 %
Сода кальцинированная техническая (углекислый натрий) $\text{Na}_2\text{CO}_3$	Порошок, гранулы	900–1100	98,5–99,4 %
Кислота серная техническая $\text{H}_2\text{SO}_4$	Раствор	1840	92,4–94,0 %
Кислота соляная техническая $\text{HCl}$	Раствор	1200	35,0–38 %
Натрий полифосфат $(\text{NaPO}_3)_n \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Порошок, гранулы	1000	61,5% по $\text{P}_2\text{O}_5$
Натрий триполифосфат $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Порошок, гранулы	690–770	56,5–57,0 % по $\text{P}_2\text{O}_5$
Оксихлорид алюминия («Аурат») $[\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Раствор	1100	20 % по $\text{Al}_2\text{O}_3$
Едкий натр технический (гидроксид натрия) $\text{NaOH}$	Порошок, гранулы	1140	
Гипохлорит натрия $\text{NaClO}$	Раствор	1270	190 г/дм <sup>3</sup> по активному хлору

Учебное издание

*НОВИКОВА Ольга Константиновна*

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
И КАНАЛИЗАЦИИ

Учебное пособие

Редактор *Я. А. Василькевич*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 15.07.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 10,42. Уч.-изд. л. 10,78. Тираж 70 экз.  
Зак. № 1971. Изд. № 9.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
№ 3/1583 от 14.11.2017.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель