

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

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

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

Гомель 2020

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальностям
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,
«Промышленное и гражданское строительство»*

Гомель 2020

УДК 628.35 (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*; заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета канд. техн. наук, доцент *С. Г. Белов*

Новикова, О. К.

Н73 Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.
ISBN 978-985-554

Содержит основные сведения о составе и свойствах сточных вод, охране водоемов от загрязнения сточными водами. Приведены методы очистки городских сточных вод, назначение, конструкции, принцип работы сооружений и оборудования механической, биологической очистки, обеззараживания и доочистки сточных вод. Рассмотрены особенности систем канализации и очистки сточных вод малонаселенных мест и отдельно расположенных объектов.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям первой ступени высшего образования 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Промышленное и гражданское строительство»

УДК 628.35 (075.8)
ББК 38.761.2

ISBN 978-985-554

© Новикова О. К., 2020
© Оформление. БелГУТ, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1 Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами	7
1.1 Состав и свойства сточных вод	7
1.1.1 Формирование состава сточных вод.....	7
1.2.2 Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод	9
1.3.3 Определение концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод	13
1.2 Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами.....	14
1.2.1 Условия отведения сточных вод в городские сети канализации.....	14
1.2.2 Определение допустимых концентраций на выпуске очистных сооружений.....	14
1.2.3 Определение необходимой степени очистки сточных вод	16
1.3 Методы и технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков	17
1.3.1 Методы очистки сточных вод	17
1.3.2 Методы обработки осадков	18
1.3.3 Технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков	21
2 Механическая очистка сточных вод	27
2.1 Обработка сточных вод процеживанием	27
2.2 Песколовки.....	33
2.2.1 Назначение песколовков, их классификация и принцип работы	33
2.2.2 Горизонтальные песколовки	34
2.2.3 Вертикальные песколовки	38
2.2.4 Тангенциальные песколовки	38
2.2.5 Аэрируемые песколовки	39
2.3 Осветление сточных вод	41
2.3.1 Назначение и классификация отстойников	41
2.3.2 Кинетика осаждения взвешенных веществ	43
2.3.3 Горизонтальные отстойники	45
2.3.4 Вертикальные отстойники	48
2.3.5 Радиальные отстойники	52
2.3.6 Септики	57
2.3.7 Двухъярусные отстойники	58
2.3.8 Осветлители-перегниватели	61
2.3.9 Интенсификация первичного осветления сточных вод	62
3 Биологическая очистка сточных вод	66
3.1 Основы биологической очистки.....	66
3.1.1 Состав активного ила и биопленки.....	66

3.3.2	Основы метода биологической деструкции и трансформации загрязняющих веществ в системах с активным илом	68
3.1.3	Закономерности распада органических веществ	70
3.1.4	Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов..	72
3.2	Очистка сточных вод в биофильтрах.....	73
3.2.1	Классификация биофильтров	73
3.2.2	Принципы очистки сточных вод в биофильтрах	75
3.2.3	Технологические схемы работы биофильтров.....	77
3.2.4	Биофильтры с объемной загрузкой.....	79
3.2.5	Биофильтры с плоской загрузкой	82
3.2.6	Ротационные биофильтры	85
3.2.7	Основы распределения сточных вод по биофильтрам.....	89
3.2.8	Системы вентиляции биофильтров.....	93
3.2.9	Методы интенсификации работы биофильтров	94
3.3	Биологическая очистка сточных вод в сооружениях с активным илом.....	97
3.3.1	Классификация сооружений биологической очистки с активным илом..	97
3.3.2	Основные характеристики активного ила	100
3.3.3	Принципы и технологические схемы очистки в сооружениях для удаления веществ, подверженных биохимическому разложению.....	103
3.3.4	Сооружения для удаления веществ, подверженных биохимическому разложению и денитрификации.....	113
3.3.5	Сооружения для удаления фосфора биологическим методом	125
3.3.6	Сооружения совместного удаления азота и фосфора.....	130
3.3.7	Расчет вместимости емкостных сооружений с активным илом	135
3.3.8	Конструкции аэротенков	141
3.3.9	Циркуляционные окислительные каналы	145
3.3.10	Окситенки	145
3.3.11	Системы аэрации иловой смеси в аэротенках.....	147
3.3.12	Перемешивание иловой смеси в анаэробных и аноксидных технологических емкостях	156
3.3.13	Определение потребности в кислороде	158
3.4	Вторичные отстойники	161
3.4.1	Стадии процесса осаждения иловых смесей.....	161
3.4.2	Гидравлический режим работы вторичных отстойников	162
3.4.3	Конструкции вторичных отстойников	163
4	Доочистка сточных вод	167
4.1	Глубокая очистка сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ.....	167
4.1.1	Грунтовые фильтрационные площадки.....	167
4.1.2	Процеживание сточных вод	169
4.1.3	Фильтрация сточных вод.....	170
4.1.4	Разделение иловой смеси с очищенной сточной воды на мембранах	171
4.2	Физико-химические методы удаления биогенных элементов.....	175
4.2.1	Физико-химические методы удаления соединений азота.....	175
4.2.2	Физико-химические методы удаления соединений фосфора.....	179
4.3	Удаление из сточных вод отдельных компонентов.....	182
4.4	Обеззараживание сточных вод.....	185

4.4.1	Обеззараживание сточных вод хлором, хлорсодержащими дезинфектантами и диоксидом хлора.....	186
4.4.2	Озонирование	192
4.4.4	УФ-облучение.....	195
4.4.5	Обеззараживание другими методами	198
4.5	Насыщение сточных вод кислородом на выпуске очистных сооружений	199
5	Системы канализации малонаселенных мест и отдельно расположенных объектов	202
5.1	Сооружения биологической очистки сточных вод в естественных условиях	202
5.1.1	Биологические пруды	202
5.1.2	Поля фильтрации.....	205
5.1.3	Фильтрующие колодцы	207
5.1.4	Поля подземной фильтрации.....	208
5.1.5	Фильтрующие траншеи и песчано-гравийные фильтры	210
5.1.6	Вентилируемые площадки подземной фильтрации	213
5.1.7	Грунтово-растительные площадки	215
5.2	Установки заводского изготовления.....	218
6	Обработка осадков сточных вод	224
6.1	Свойства осадков сточных вод и схемы для их обработки.....	224
6.1.1	Состав и свойства осадков сточных вод.....	224
6.1.2	Методы и схемы обработки осадков	227
6.2	Уплотнение илов и осадков сточных вод	229
6.2.1	Гравитационное уплотнение	231
6.2.2	Флотационное уплотнение	232
6.2.3	Динамическое уплотнение	234
6.3	Сооружения анаэробной и аэробной стабилизации осадков	237
6.3.1	Метантенки	237
6.3.2	Аэробные стабилизаторы	244
6.4	Обезвоживание осадков сточных вод	247
6.4.1	Обезвоживание осадка из песколовков	247
6.4.2	Иловые площадки	248
6.4.3	Механическое обезвоживание осадков	252
6.5	Термическая сушка осадков сточных вод	267
6.6	Обеззараживание осадков сточных вод.....	272
6.7	Сжигание осадков сточных вод.....	275
6.8	Утилизация осадков сточных вод	277
7	Компоновочные решения очистных сооружений	281
7.1	Компоновка плана очистных сооружений	281
7.2	Проектирование и расчет лотков, каналов и трубопроводов.....	287
7.3	Высотная схема очистных сооружений.....	290
	Список литературы.....	292
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Основные параметры принимаемые при проектировании очистных сооружений.....	294

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды и, особенно, водных объектов от загрязнения и истощения является одной из важнейших задач в современном мире.

При проектировании очистных сооружений канализации необходимым условием является защита окружающей среды (водного и воздушного бассейнов) от загрязнений, образующихся в процессе очистки сточных вод и поступающих в водный объект и атмосферу.

Загрязнение водного объекта, в который производится отведение сточных вод, отрицательно сказывается на состоянии его фауны и флоры. Загрязнение воздушного бассейна влияет на условия проживания населения в прилегающих районах.

При проектировании очистных сооружений разрабатываются такие технические решения, которые уменьшают их отрицательное воздействие на окружающую среду.

Современные очистные сооружения это сложный и дорогостоящий комплекс инженерных сооружений и коммуникаций. Затраты на их строительство обычно составляют до 20 % стоимости всей системы канализации и при прочих равных условиях существенно зависят от принятой технологической схемы очистки сточных вод, состава и размеров очистных сооружений.

В настоящем учебном пособии приведены методы механической и биологической очистки городских сточных вод. Изложены способы очистки и доочистки сточных вод от взвешенных веществ, органических загрязнений, соединений азота, фосфора, которые являются наиболее характерными загрязнителями городских сточных вод.

Учебное пособие написано в полном соответствии с применяемой программой дисциплины "Технология очистки сточных вод". Используются действующие в Республике Беларусь нормативные правовые акты, последние научные исследования, опыт проектирования и строительства.

1 ОХРАНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

1.1 Состав и свойства сточных вод

1.1.1 Формирование состава сточных вод

Сточные воды – воды, сбрасываемые от жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после использования их в хозяйственной и иной деятельности, а также воды, образующиеся при выпадении атмосферных осадков, таянии снега, поливке и мытье дорожных покрытий (поливомоечные работы) на территории населенных пунктов, объектов промышленности, строительных площадок и других объектов и сбрасываемые в окружающую среду, в том числе через систему канализации.

Загрязнения сточных вод **по своей природе** подразделяются:

– на *органические* – примеси растительного и животного происхождения;

– *минеральные* – песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли;

– *биологические и бактериальные* – различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные (возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии) и др.

В соответствии с размером частиц все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы:

К первой группе примесей относят нерастворимые в воде грубодисперсные примеси органической или неорганической природы. К этой группе так же относятся микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Примеси образуют с водой неустойчивые системы и при определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют вещества коллоидной степени дисперсности с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе примесей относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц их затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К третьей группе относят примеси с размером частиц менее 10^{-7} см. Они имеют молекулярную степень дисперсности. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее 10^{-8} см (ионная степень дисперсности). Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности, аммонийные соли и фосфаты частично удаляются из воды в процессе биологической очистки.

В зависимости от происхождения различают три основные категории сточных вод:

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в сети водоотведения от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные различными хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека. Среди них могут быть и патогенные. Особенностью данной категории сточных вод является относительное постоянство их состава.

Основная часть органических загрязнений хозяйственно-бытовых сточных вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека (фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли).

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод зависят от вида промышленного производства, исходного сырья, технологических процессов производства. Они могут сильно колебаться во времени и зависят от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока производственных сточных вод влияет на эффективность работы городских очистных сооружений и усложняет их эксплуатацию.

Поверхностные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории относятся дождевые и талые сточные воды, а также воды от поливки улиц (поливомоечные сточные воды). В поверхностных сточных водах наблюдается высокая концентрация песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в дождевых сточных водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью поверхностных сточных вод является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

1.2.2 Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод

Оценка качественного состава городских сточных вод осуществляется по результатам полного **санитарно-химического анализа**, включающего определение следующих показателей:

Температура – один из определяющих факторов процесса седиментации. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. От температуры зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска – один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-бытовые сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков – свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т. д.

Запах – органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Определяется качественно при температуре пробы 20 °С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т. д. При неясно выраженном запахе определение повторяется после подогревания пробы до 65 °С. Иногда требуется знать пороговое число – наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Городские сточные воды имеют слабощелочную реакцию среды рН = 7,2...7,8.

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды растворенными и коллоидными примесями. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1–3 см, после очистки увеличивается до 15–30 см.

Минерализация характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/дм³). Определяется сухой остаток после выпаривания и дальнейшего высушивания при температуре пробы сточной воды 105 °С. После прокаливания (при температуре 600 °С) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток – это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (в мг/дм³). Определяется так же, как и сухой остаток.

Взвешенные вещества – количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод.

Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в миллиграммах на литр, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется *зольностью*.

Оседающие вещества – часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 ч отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50–75 % общей концентрации [5].

Окисляемость – общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. В зависимости от природы используемого окислителя различают окисляемость химическую и биохимическую (рисунок 1.1).

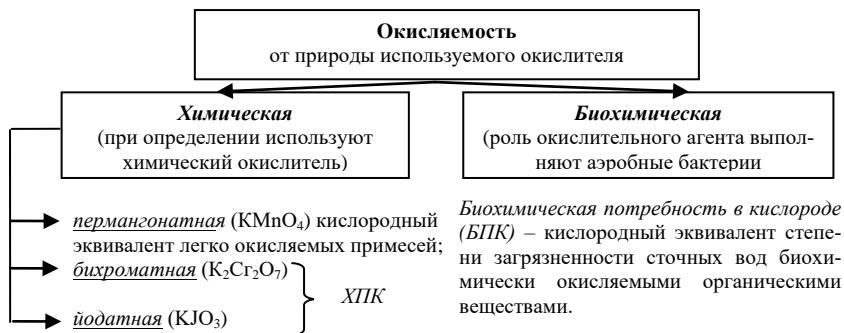


Рисунок 1.1 – Окисляемость в зависимости от природы используемого окислителя

БПК – это биохимическая потребность в кислороде или количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (не включая процессы нитрификации) за определенный промежуток времени (2, 5, 8, 10, 20 сут), в мг O_2 на 1 мг вещества. $БПК_5$ – биохимическая потребность в кислороде за 5 сут.

ХПК – химическая потребность в кислороде, т. е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть *органических азо-*

тистых соединений составляют вещества белковой природы. *Неорганические соединения азота* представлены восстановленными – NH_4^+ и NH_3 окисленными формами NO_2^- и NO_3^-

Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины – продукта жизнедеятельности человека.

В городских сточных водах до их очистки *азот в окисленных формах* (в виде нитритов и нитратов), как правило, *отсутствует*. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота.

Источником соединений *фосфора* в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Азот и фосфор (биогенные элементы) – необходимые компоненты состава бактериальных клеток. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен, но повышенные концентрации в составе сточных вод, поступающих в водные объекты, вызывают **эвтрофикацию**.

Хлориды и сульфаты – показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

К токсичным тяжелым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; *к токсичным элементам*, не являющимся тяжелыми металлами, – мышьяк, сурьма, бор, алюминий и т. д.

Источником поступления тяжелых металлов в городские сточные воды являются производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде.

Нефтепродукты – неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водных объектах строго нормируется, и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85 %, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/дм^3 .

К санитарно-бактериологическим показателям относятся:

- микробное число – общая обсемененность сточных вод микроорганизмами (10^6 – 10^8);
- степень загрязненности воды патогенными микроорганизмами, оцениваемая по БГКП (бактерий группы кишечной палочки);
- содержание яиц гельминтов.

Для очистных сооружений важнейшими задачами санитарно-химического анализа являются контроль за процессами очистки и оценка эффективности работы каждого сооружения. При этом анализируются *среднесуточные пробы* поступающих на станцию сточных вод и *пробы сточных вод после каждого этапа очистки*. По результатам анализов рассчитывается эффективность работы очистной станции в целом и отдельных сооружений. Кроме того, измеряются среднесуточные расходы поступающих на станцию сточных вод и выходящих очищенных вод.

Каждый показатель определенным образом увязан с другими показателям. Комплексная оценка состава воды может быть сделана только на основании сопоставления всех показателей санитарно-химического анализа. Однако в зависимости от целей выполнения анализа могут быть выделены наиболее значимые показатели. Расчет необходимой степени очистки, прежде всего, выполняется по показателям взвешенных веществ и по БПК₅.

Биохимическим показателем является соотношение БПК/ХПК. Его значения колеблются в широких пределах для различных групп сточных вод.

Для бытовых сточных вод это отношение составляет величину 0,86, а для производственных – изменяется в широких пределах, но, как правило, оказывается ниже, чем для бытовых.

Для сточных вод, прошедших сооружения биологической очистки, значение биохимического показателя существенно уменьшается.

Рассмотрение показателей БПК, аммонийного азота и фосфатов позволяет оценить *количество биогенных элементов*, необходимых для процесса биологической очистки.

Хлориды не влияют на биологические процессы очистки сточных вод даже при концентрациях 10 г/дм³, но для охраны водных объектов необходимо предотвратить сброс высокоминерализованных производственных сточных вод в городские сети водоотведения.

СПАВ – органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей. Подразделяются на ионогенные (75 %) и неионогенные. СПАВ ухудшают процесс седиментации взвешенных веществ, образуют много пены, тормозят биохимические процессы. В зависимости от биохимического окисления СПАВ разделяются на три группы:

- мягкие – 75–85 % изъятия;
- промежуточные – 60 %;
- жесткие – до 60 %.

Сопоставление отдельных показателей санитарно-химического анализа позволяет оценить точность выполнения анализов: величина плотного осадка всегда меньше величины сухого, а разность величин сухого и плотного примерно равна концентрации взвешенных веществ.

1.3.3 Определение концентраций загрязняющих веществ в составе городских сточных вод

Концентрация загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых сточных вод определяется исходя из удельного среднесуточного водоотведения на одного жителя

$$C_{\text{быт}} = \frac{1000a}{q}, \quad (1.1)$$

где a – количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/(чел·сут), принимается по таблице 1.1;

q – норма водоотведения, л/(чел·сут).

Количество загрязняющих веществ, поступающих в сточные воды от населения, проживающего в неканализованных районах, допускается учитывать в размере 33 % от указанного в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Количество загрязняющих веществ на одного жителя [24]

Показатель	Количество загрязняющих веществ, г/(чел·сут)
Взвешенные вещества	65,0
Биохимическая потребность в кислороде (БПК ₅) неосветленной сточной воды	60,0
Химическое потребление кислорода (ХПК) неосветленной сточной воды	120,0
Азот аммонийный	10
Азот по Кьельдалю	12
Фосфор общий	2,0
Фосфат ион в пересчете на фосфор	1,4
Хлорид ион	9,0

Концентрация загрязняющих веществ в составе городских сточных вод определяется по формуле

$$C_{\text{г.с.в}} = \frac{C_{\text{быт}} Q_{\text{быт}} + \sum C_{\text{пр.}i} Q_{\text{пр}i}}{Q_{\text{быт}} + \sum Q_{\text{пр}i}}, \quad (1.2)$$

где $C_{\text{быт}}$ – концентрация загрязнений в бытовых сточных водах, мг/дм³;

$Q_{\text{быт}}$ – расход бытовых сточных вод, м³/сут;

$C_{\text{пр}i}$ – концентрация загрязнений в производственных сточных водах i -го предприятия, мг/дм³;

$Q_{\text{пр}i}$ – расход производственных сточных вод i -го предприятия, м³/сут.

1.2 Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами

1.2.1 Условия отведения сточных вод в городские сети канализации

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него, загрязненные производственные сточные воды могут отводиться в городские сети канализации.

Степень очистки сточных вод, сбрасываемых с площадок объектов производства в системы канализации населенных пунктов, должна удовлетворять правилам их приема в соответствии с требованиями [17].

Для предотвращения нарушения технологического процесса биологической очистки отводимые сточные воды должны удовлетворять следующим требованиям:

1 Производственные сточные воды не должны:

- быть агрессивными по отношению к материалам сетей водоотведения и сооружений на них;
- содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;
- содержать горючих примесей (бензина, нефтепродуктов, эфиров), а также растворенных газообразных веществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси.

2 Концентрация нефтепродуктов в составе городских сточных вод не должна превышать *допустимого предела для процесса биохимической очистки* (15 мг/дм^3).

3 Температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

4 Не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток.

Производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым требованиям, необходимо подвергать предварительной очистке на локальных установках.

Особое внимание уделяется производственным сточным водам, имеющим в своем составе радиоактивные элементы. В сети водоотведения города не разрешается сброс таких сточных вод. Не разрешен также сброс биологически «жестких» поверхностно-активных веществ и СПАВ.

1.2.2 Определение допустимых концентраций на выпуске очистных сооружений

Порядок установления, утверждения и пересмотра нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод, отводимых в водные объекты, определяется инструкцией «О порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе

сточных вод», утвержденной постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 16 от 26 мая 2017 г. [16].

Нормативы (временные нормативы) сбросов устанавливаются на каждом выпуске сточных вод для загрязняющих веществ, включенных в перечень нормируемых загрязняющих веществ в составе сточных вод, согласно инструкции [16, приложение Б]. Временные нормативы сбросов устанавливаются на период проведения реконструкции, модернизации, капитального ремонта очистных сооружений сточных вод, а также пусконаладочных работ или выхода их на проектную мощность.

При осуществлении сброса загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод, удаляемых в процессе биологической очистки, допустимая концентрация устанавливается в зависимости от эквивалента населения или массы органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистку, выраженных по показателю БПК₅, и при этом не должна превышать значения, приведенные в таблице 1.2.

Эквивалент населения – условное число жителей, определяющее концентрацию загрязняющих веществ в составе сточных вод, рассчитываемое как соотношение произведения среднесуточного расхода сточных вод, поступающих на очистку, и концентрации загрязняющих веществ, выраженных по показателю биохимического потребления кислорода в течение пяти суток (БПК₅), к массе органических веществ, выраженных по показателю БПК₅, вносимых одним человеком в сутки,

$$N_{\text{экв}} = \frac{Q_{\text{расч}} C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a}, \quad (1.3)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – суммарный среднесуточный расход производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод (расход городских сточных вод), м³/сут;

$C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}$ – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, оцениваемых по БПК₅, г/м³;

a – количество загрязняющих веществ, оцениваемых по БПК₅, вносимых одним человеком в сточные воды, г/чел·сут, принимается по таблице 1.1.

Масса органических веществ в составе сточных вод, кг/сут, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{Q_{\text{расч}} C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{1000}. \quad (1.4)$$

Степень удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод, определяемая при проектировании очистных сооружений сточных вод, должна соответствовать допустимым значениям показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод, приведенным согласно таблице 1.2, с коэффициентом **0,85** [16, п. 17].

Таблица 1.2 – Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод, удаляемых в процессе биологической очистки [16]

Эквивалент населения, чел. (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, кг/сут)	Концентрация загрязняющих веществ			Значение показателей		
	фосфор общий, мг/дм ³	азот общий, мг/дм ³	аммоний-ион, мгN/дм ³	взвешенные вещества, мг/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	ХПК, мгО ₂ /дм ³
До 500 (до 30)	-	-	25	30	25	125
501–2000 (30–120)	-	-	20	25	25	120
2001–10 000 (120–600)	4,5	25	15	25	20	100
10 001–100 000 (600–6000)	3,0	20	15	20	20	80
Более 100 000 (более 6000)	2,0	20	10	20	15	70
* Сумма концентраций азота по Кельдалю, нитрат-иона (в пересчете на азот) и нитрита (в пересчете на азот)						

По остальным показателям, включенным в перечень нормируемых загрязняющих веществ в составе сточных вод, но не приведенных в таблице 1.2, допустимая концентрация устанавливается расчетом в соответствии с методикой, приведенной в ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 [25].

1.2.3 Определение необходимой степени очистки сточных вод

Расчет необходимой степени очистки сточных вод и канализационных очистных сооружений производится по основным показателям, характеризующим содержание загрязняющих веществ:

- взвешенным веществам;
- суммарному содержанию в воде органических загрязняющих веществ, оцениваемому по БПК₅ и ХПК;
- наличию биогенных элементов (азота и фосфора).

Необходимая степень очистки сточных вод и расчет канализационных очистных сооружений по другим загрязняющим веществам определяется исходя из условий сброса очищаемых сточных вод в окружающую среду или их отведения в системы канализации в соответствии с требованиями законодательства и ТНПА в области охраны вод.

Степень очистки сточных вод, %, определяется в зависимости от допустимых концентраций на выпуске очистных сооружений по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{г.с.в.}} - C_{\text{доп}}}{C_{\text{г.с.в.}}} 100, \quad (1.5)$$

где $C_{\text{г.с.в.}}$ – концентрация загрязняющего вещества, в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, мг/дм³, определяется по формуле (1.3);

$C_{\text{доп}}$ – допустимая концентрация загрязняющего вещества на выпуске очистных сооружений, мг/дм³.

Степень очистки сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, должна удовлетворять требованиям законодательства об охране и использовании вод [6, 16, 25].

Эффективность удаления загрязняющих веществ при использовании типовых технологий очистки сточных вод приведена в таблице А.1.

Эффективность удаления отдельных веществ при использовании аэробной биологической очистки необходимо определять с учетом их возможной биоразлагаемости в аэробных условиях, данных эксплуатации объектов-аналогов.

Степень удаления отдельных загрязняющих веществ на сооружениях аэробной биологической очистки приведена в таблице А.2.

Перечень загрязняющих веществ, не удаляемых в процессе аэробной биологической очистки, приведен в таблице А.3.

1.3 Методы и технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков

При проектировании очистных сооружений и выборе технологической схемы очистки необходимо руководствоваться законами Республики Беларусь, нормативными правовыми актами (НПА), ТНПА, устанавливающими технические, санитарные, природоохранные требования, требования безопасности к системам водоотведения.

При проектировании очистных сооружений необходимо предусматривать технические решения, обеспечивающие бесперебойное и надежное функционирование очистных сооружений с учетом рационального использования ресурсов.

1.3.1 Методы очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, биологические, физико-химические, обеззараживание и доочистку (рисунок 1.2).

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависит от многих факторов:

- расхода сточных вод;
- необходимой степени очистки сточных вод;
- рельефа местности и характера грунтов;
- энергетических затрат и др.

Расчет допустимых концентраций на выпуске очистных сооружений является основой определения необходимой степени очистки.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по БПК₅ до 15–20 мг/дм³.

Если расчет необходимой степени очистки сточных вод определяет более высокий эффект, чем могут обеспечить сооружения биологической очистки, то возникает необходимость глубокой очистки сточных вод.

С целью уничтожения патогенных микроорганизмов сточные воды после очистки перед сбросом в водный объект подвергаются обеззараживанию.

1.3.2 Методы обработки осадков

Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

Технологические процессы обработки осадков сточных вод можно разделить на следующие основные стадии: уплотнение, стабилизация органической части, кондиционирование, обезвоживание, термическая обработка или обеззараживание, утилизация ценных продуктов.

Для каждой из стадий существует несколько методов обработки, эффективность которых зависит от свойств осадков и местных условий. Затраты на удаление единицы объема влаги при уплотнении примерно в 10 раз ниже, чем при механическом обезвоживании (с учетом затрат на кондиционирование), и в 15–20 раз ниже, чем при термической сушке.

Основные методы обработки осадков приведены на рисунке 1.3.

Для утилизации стабилизированного канализационного осадка и его вывозки влажность осадка должна составлять не более 75–80 %. Такую влажность возможно обеспечить механическими методами с использованием обезвоживающего оборудования.

При проектировании очистных сооружений производительностью более 25 000 м³/сут предусматривается обезвоживание осадков механическими методами. Иловые площадки применяются только в качестве резервных сооружений.



Рисунок 1.2 – Методы очистки сточных вод

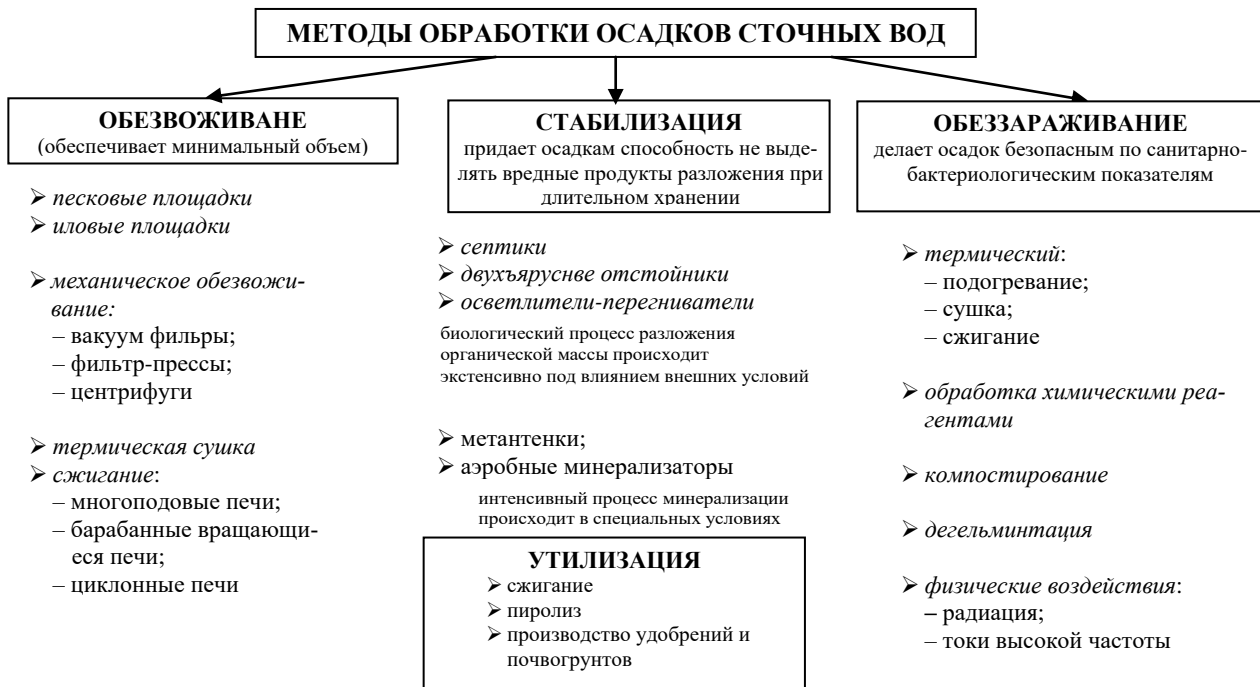


Рисунок 1.3 – Методы обработки осадков

Для механического обезвоживания осадков применяются центрифуги и фильтр-прессы (ленточные, камерные).

Жидкие осадки могут быть стабилизированы с использованием метода анаэробного (метанового) сбраживания. Анаэробное сбраживание рекомендуется для стабилизации осадков на очистных сооружениях производительностью свыше 50 тыс. м³/сутки. Процесс сбраживания проводится в метантенках. Метановое сбраживание может протекать при мезофильном режиме (30–40 °С) и термофильном (50–60 °С). Выбор режима основывается на анализе климатических условий. Если для обеспечения термофильных температур необходимы значительные затраты энергии, то более эффективной будет эксплуатация реакторов при мезофильных температурах.

Выбор технологических схем обработки осадков необходимо производить по результатам технико-экономических расчетов с учетом их объема, состава и свойств, физико-химических и теплофизических характеристик и с учетом последующих методов использования или размещения в окружающей среде.

Схемы обработки осадков весьма разнообразны, а общее число всех возможных вариантов достигает нескольких сот.

1.3.3 Технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков

Выбор принципиальной схемы очистной станции, т. е. набора очистных сооружений, обеспечивающих необходимую степень очистки и обработки осадков, осуществляется на основе расчетов количества и состава сточных вод и необходимой степени очистки. Окончательный выбор схемы очистной станции производится путем составления технико-экономического обоснования по двум-трем вариантам, соответствующим специфике природно-климатических условий и комплексной программе развития региона (области, города, района).

В основе выбора схемы лежат следующие условия:

1 Количество и состав сточных вод.

Влияющими параметрами являются норма водоотведения, соотношение между количеством и составом городских и производственных сточных вод, возможность удаления загрязняющих веществ, содержащихся в производственных сточных водах.

2 Необходимая степень очистки сточных вод перед выпуском их в водный объект.

3 Климатические, геологические и гидрогеологические условия, наличие земельных площадей, пригодных для орошения сточными водами и утилизации осадков.

Геологические и гидрогеологические условия определяют выбор строительных конструкций, необходимость гидроизоляции сооружений.

Использование орошения дает возможность осуществить доочистку сточных вод. Утилизация осадка в качестве удобрения упрощает систему его обработки и обезвоживания.

4 Перспективы развития канализации города (района), очередность строительства.

Схема очистной станции должна позволять вести строительство и осуществлять ввод сооружений в эксплуатацию по очередям. Если рассматривается вариант расширения существующей очистной станции, то в схеме необходимо предусмотреть рациональное использование ранее построенных сооружений. При строительстве новых или реконструкции существующих очистных сооружений необходимо стремиться применять новые высокоэффективные, экономичные, с пониженным потреблением энергии методы.

На очистных сооружениях основными являются первичные отстойники, сооружения биологической очистки и обработки осадка.

Механическая очистка сточных вод должна обеспечить содержание взвешенных веществ в осветленной воде не более 150 мг/л при последующей очистке ее в аэротенках на полную очистку, а также в биофильтрах независимо от степени очистки. Концентрация взвешенных веществ не нормируется для двухступенчатых аэротенков, аэротенков на частичную очистку и с полной минерализацией активного ила.

При концентрации взвешенных веществ в составе городских сточных вод, поступающих на очистные сооружения, более 300 мг/л, целесообразно предусматривать интенсификацию отстаивания, особенно в тех случаях, когда содержание взвешенных веществ в осветленной воде нормируется.

При выборе сооружений биологической очистки необходимо учитывать производительность очистной станции: биофильтры применяются до 50 тыс. м³/сут, аэротенки – при любой производительности.

Доочистка сточных вод может осуществляться фильтрацией на скорых песчаных фильтрах или на микрофильтрах, а также в биологических прудах. Другие методы доочистки не нашли широкого применения.

Ниже приведено несколько схем очистных станций, составленных на основе помещенных выше рекомендаций: схемы не исчерпывают все возможные варианты, но являются основными и характерными для городских канализаций.

Разнообразие методов очистки сточных вод и возможностей их комбинации предопределяет большое количество технологических схем. Ниже приведены примеры некоторых из них.

Очистная станция с биофильтрами приведена на рисунке 1.4. В схеме применены мелкопрозрачные решетки, песколовки с круговым движением воды, радиальные первичные и вторичные отстойники, высоконагружаемые биофильтры с рециркуляцией очищенной воды, биологические пруды для доочистки воды. Для обеззараживания применяется гипохлорит натрия. Це-

лесообразность применения метантенков должна быть подтверждена теплотехническим расчетом (количество образующегося биогаза должно быть достаточным для обогрева метантенков при выбранном температурном режиме сбраживания).

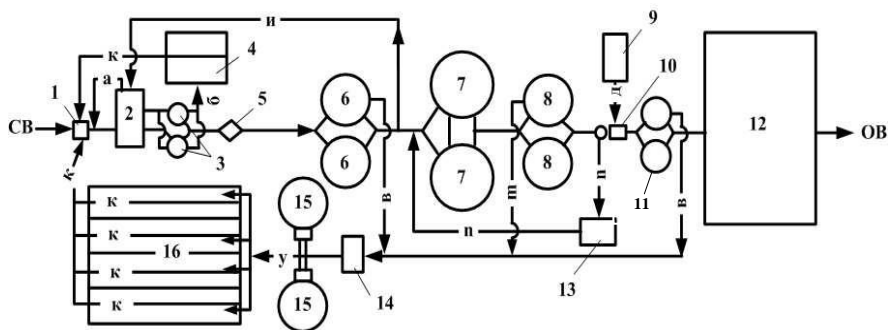


Рисунок 1.4 – Схема очистных сооружений с высоконагружаемыми биофильтрами и метантенками:

1 – приемная камера; 2 – решетки; 3 – песколовки с круговым движением воды; 4 – песковые площадки; 5 – водоизмерительное устройство; 6 – первичные отстойники; 7 – высоконагружаемые биофильтры; 8 – вторичные отстойники; 9 – электролизерная; 10 – смеситель; 11 – контактные резервуары; 12 – биологические пруды; 13 – насосная станция рециркуляции очищенной воды; 14 – камера управления метантенков; 15 – метантенки; 16 – иловые площадки; СВ – подача сточной воды на очистку; а – измельченные отбросы; б – пескопульпа; в – осадок на обратку; и – подача технической воды; к – илвая вода; у – сбросный сдок; н – рециркуляция очищенной воды; т – биопленка

Технологическая схема очистных сооружений производительностью до $100\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ (рисунок 1.5) включает:

1 Сооружения механической очистки сточных вод:

- мелкопрозрачные решетки с узлом прессования и отмывки задержанных загрязнений;

- песколовки с узлом отмывки песка от органических загрязнений;

- первичные отстойники.

2 Сооружения биологической очистки сточных вод:

- технологические емкости с активным илом, в которых проходят процессы нитрификации-денитрификации, с биологическим или реагентным удалением соединений фосфора;

- вторичные отстойники.

3 Сооружения доочистки сточной воды (если не обеспечивается требуемая степень очистки сточных вод на выпуске после вторичных отстойников).

4 Сооружения обеззараживания.

5 Сооружения обработки и механического обезвоживания осадков сточных вод, сооружения естественной сушки осадка (иловые площадки) используются в качестве резервных.

В состав таких очистных сооружений включаются здания для размещения технологического оборудования и цеха механического обезвоживания осадка. Емкостные сооружения выполняются из бетона.

Технологическая схема очистных сооружений производительностью свыше 100 000 м³/сут может быть дополнена использованием мини-ТЭС, работающей на биогазе, образующемся при сбраживании осадка сточных вод в метантенках (рисунки 1.6).

Повышение эффективности сооружений обработки осадка – метантенков, где в процессе распада органического вещества осадка выделяется биогаз, достигается за счет утилизации биогаза на мини-ТЭС с выработкой электроэнергии и получением дополнительного тепла.

Технологический процесс включает:

- многоступенчатую очистку биогаза;
- сжигание биогаза на модульных блочных установках;
- передачу производимой электроэнергии через сеть среднего напряжения на ТП для запитки основного технологического оборудования;
- сушку механически обезвоженного осадка до 10 % влажности производимым паром;
- утилизацию вторичного тепла – подогрев сырого осадка водой системы охлаждения двигателей.

Использование возобновляемого источника энергии – биогаза – способствует повышению энергетической эффективности работы очистных сооружений.

Мини-ТЭС на биогазе отличается экологической чистотой: способствует снижению выброса парниковых газов.

2 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

2.1 Обработка сточных вод процеживанием

Сооружения для обработки сточных вод процеживанием предназначены для задержания грубодисперсных примесей, содержащихся в сточных водах с эффективностью, обеспечивающей эксплуатацию последующих сооружений в нормальном режиме.

Для обработки сточных вод процеживанием в зависимости от вида и размеров удаляемых примесей применяются решетки, сита, сетки, комбинированные установки, включающие процеживатели с системами удаления песка и всплывающие примесей, процеживатели с измельчителями.

Барабанные сетки и сита применяются для задержания крупноразмерных примесей и снижения содержания взвешенных веществ.

При применении **барабанных сеток** для механической очистки сточных вод в исходной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку сетки (смолы, жиры, масла, нефтепродукты), а содержание взвешенных веществ не должно превышать 250 мг/дм^3 [24].

При отсутствии данных производителей барабанных сеток и сит по степени очистки на них снижение содержания загрязняющих веществ принимается: по взвешенным веществам 20–25 %, БПК₅ – 5–10 % [24].

Решетки применяются для задержания из городских сточных вод крупных и волокнистых материалов и являются сооружениями предварительной очистки. Их основным элементом является рама с рядом металлических стержней, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами, через которую процеживается вода.

Для устройства решеток применяются стержни прямоугольной, прямоугольной с закругленной частью, круглой и другой форм (рисунок 2.1). Стержни прямоугольной формы применяют чаще других.

Толщина стержней (пластин) решеток новых конструкций отечественного и зарубежного производства составляет 3–10 мм, ширина прозоров – 3–16 мм.

В зависимости от величины прозоров решетки подразделяются:

- грубой степени очистки (прозоры составляют более 20 мм);
- средней степени очистки (20–10 мм);
- тонкой степени очистки (менее 10 мм).

Решетки грубой и средней степеней очистки применяются для задержания примесей и включений из потока сточных вод с целью предотвращения засоров и блокировки сооружений, размещенных после решеток.

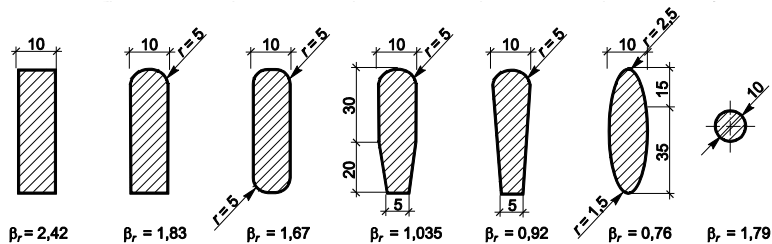


Рисунок 2.1 – Формы поперечных стержней решеток и соответствующие коэффициенты β_r

Решетки тонкой степени очистки кроме задержания грубодисперсных примесей предназначены также для снижения содержания взвешенных веществ в сточных водах.

При использовании решеток тонкой степени очистки для предотвращения их интенсивного засорения может предусматриваться предварительная обработка сточных вод на решетках грубой или средней степени очистки.

Решетки устанавливаются в расширенных каналах перед песколовками, называемыми *камерами*, при проектировании которых должна быть предусмотрена возможность перекрытия подводящих и отводящих каналов для каждой решетки.

Решетки подразделяются на вертикальные и наклонные, а также на подвижные и неподвижные.

Решетки очищаются граблями. Для удобства съема загрязнений решетки часто устанавливают под углом к горизонту $\alpha = 60 \dots 70^\circ$ (рисунок 2.2).

При количестве улавливаемых отбросов более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ их удаление и подъем из воды механизмуется (рисунок 2.3).

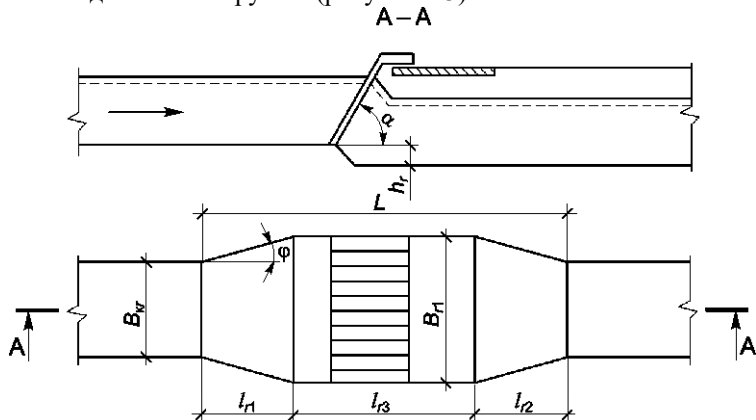
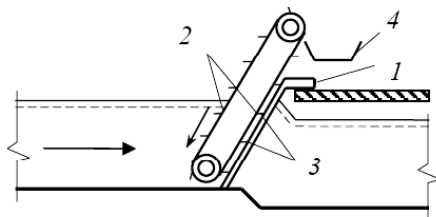


Рисунок 2.2 – Решетка с ручной очисткой [10]

Рисунок 2.3 – Решетка с механическими граблями [7]:

1 – решетка; 2 – бесконечная цепь;
3 – грабли; 4 – конвейер



Размеры решеток определяются при максимальном притоке сточных вод на очистные сооружения из условия обеспечения в прозорах решетки скорости движения сточных вод 0,8–1,0 м/с. При большей скорости уловленные загрязнения «продавливаются» через решетки. При меньшей скорости в уширенной части канала перед решеткой начинают выпадать в осадок крупные фракции песка.

Минимальная скорость движения сточных вод в канале до решеток принимается не менее 0,3 м/с, после решеток – не менее 0,7 м/с.

Исходя из общей ширины решеток, подбирается необходимое количество рабочих решеток, дополнительно предусматривается установка 1–2 резервных решеток и предусматривается обводной канал для пропуска воды в случае аварийного засора решеток.

Объем задерживаемых отбросов на решетках (ситях) определяется в зависимости от ширины прозоров (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Объем задерживаемых отбросов на решетках

Ширина прозоров, мм	0,5	1,0	2,0	3,0	6,0	15	16–20	25–35	40–50	60–80	90–125
Объем отбросов л/чел·год	45	34	26	22	16	10	8	3	2,3	1,6	1,2

При определении объема задерживаемых отбросов на очистных сооружениях необходимо учитывать его уменьшение за счет удаления отбросов на КНС, при подаче сточных вод на очистные сооружения с КНС, оборудованных решетками.

Плотность и влажность отбросов, снимаемых с решеток, принимается по паспортным данным предприятий-производителей решеток. При отсутствии данных допускается принимать по таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Влажность и плотность отбросов с решеток

Отбросы с решеток	Влажность отбросов, %	Плотность отбросов, т/м ³
До обезвоживания	90	0,87
После обезвоживания	70	0,69

Задержанные загрязнения либо собираются в бункеры, обезвоживаются и вывозятся на полигоны ТБО, либо подвергаются дроблению на специальных дробилках, а затем или сбрасываются в поток воды, или транспортируются в метантанки на сбраживание.

Для дробления отбросов, извлеченных из сточной воды, могут применяться дробилки, которые работают при подаче в них технической воды (после первичных или вторичных отстойников) из расчета 40 м^3 на 1 т отбросов. Существуют два вида дробильных аппаратов:

Ножевые дробилки состоят из насаженных на валы ножей, которые режут и рвут на мелкие части отбросы, поддающиеся такому измельчению. Ножевые дробилки хорошо размельчают волокнистые отбросы, тряпье, но более твердые вещества – плохо.

Молотковые дробилки размельчают отбросы молотками до состояния мелкой трухи.

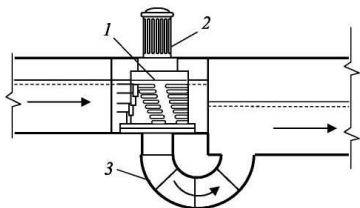


Рисунок 2.4 – Решетка-дробилка РД [10]:

1 – щелевой барабан; 2 – приводной механизм; 3 – отводной дюкер

Существуют конструкции решеток, совмещенные с дробилками – решетки-дробилки (*комминаторы*), в которых измельчение уловленных отбросов происходит под водой (рисунок 2.4). Состоят из вращающегося щелевого барабана с режущими пластинами и резами, неподвижного корпуса с трепальными гребнями и приводного механизма.

Измельчение отбросов происходит при взаимодействии пластин и резцов с трепальными гребнями корпуса.

Решетки с механизированной очисткой необходимо размещать в отдельном отапливаемом помещении с температурой не ниже $16 \text{ }^\circ\text{C}$. В здании решеток необходимо предусматривать мероприятия, предотвращающие поступление холодного воздуха через подводящие и отводящие каналы. Кратность обмена воздуха в здании принимается не менее 5.

Для обеспечения обслуживания решеток между ними предусматриваются проходы шириной не менее 1,2 м.

Пол здания решеток должен располагаться не менее чем на 0,5 м выше расчетного уровня сточной воды в каналах. В месте установки решетки на дне камеры выполняется уступ, равный величине потерь напора в решетке h_r (см. рисунок 2.2).

При размещении решеток вне зданий должны быть предусмотрены конструкции решеток и мероприятия, обеспечивающие их нормальную эксплуатацию и предотвращение обмерзания.

В здании решеток очистных сооружений, при необходимости, предусматривается размещение оборудования для предварительного отжима за-

держанных отбросов и их уплотнения (поршневые, шнековые прессы и другие виды оборудования для механического уплотнения).

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 требованиями законодательства по обращению с отходами.

Наиболее распространенными в мировой практике решетками тонкой очистки являются ступенчатые, ленточные и барабанные (шнековые) решетки.

Ступенчатая решетка представляет собой два пакета пластин ступенчатой формы: подвижный и неподвижный. Каждая пластина подвижного пакета расположена между двумя пластинами неподвижного пакета (рисунок 2.5). Подвижная пластина совершает круговое движение подъем, перемещение, спуск. Подвижный пакет движется посредством кривошипно-шатунного механизма (без цепей). Загрязнения, содержащиеся в поступающих на очистку сточных водах, собираются на неподвижных ступенях установки. Затем подвижный пакет пластин, совершая круговое движение, приподнимает накопившиеся загрязнения, перемещает их вверх и укладывает на следующую неподвижную ступень. Таким образом, загрязнения перемещаются вверх до линии сброса.

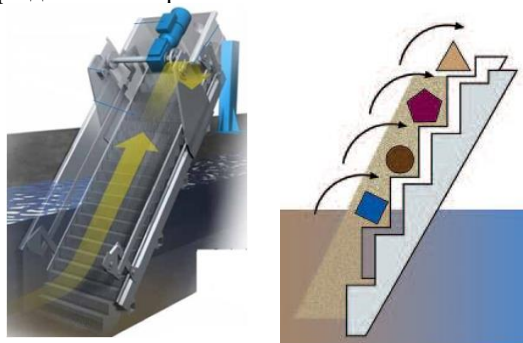


Рисунок 2.5 – Ступенчатая решетка

Задержанные на пластинах загрязнения образуют дополнительный фильтрующий слой, способствующий повышению эффективности очистки.

Размер задерживаемых частиц вне зависимости от размеров прозоров может составлять менее 1 мм, таким образом, ступенчатые установки можно отнести к классу процеживающих.

Устройство и принцип работы ступенчатых решеток способствуют возникновению на них значительного гидравлического сопротивления. В связи с этим перед ступенчатыми решетками скапливается песок, который необходимо регулярно удалять.

Также ступенчатые решетки требуют регулярного технического обслуживания во избежание повреждения ламелей.

Ленточные решетки выпускаются с прозорами 1–10 мм и представляют собой стальную раму с движущейся бесконечной перфорированной лентой из ударопрочного пластика или нержавеющей стали. Лента собирается из элементов с крючками (зубчиками) для транспортировки отходов.

После сброса загрязнений, лента чистится вращающейся нейлоновой щеткой. Для промывки водой устанавливаются форсунки.

Так как вода проходит через полотно два раза, производительность ленточных решеток несколько ниже, чем у ступенчатых и речечных.

В последнее время широко используются *барабанные (роторные) решетки* с интегрированной промывкой и уплотнением извлекаемых отходов, одна из конструкций которых приведена на рисунке 2.6.



Барабанная решетка устанавливается в канал или контейнер под углом 35° и представляет собой вращающуюся или неподвижную корзину, состоящую из клиновидных реек. Сточная вода попадает в установку через открытое дно корзины. При прохождении сточных вод через наклонную корзину решетки происходит сепарация плавающих, оседающих и взвешенных веществ. Загрязнения оседают на корзине, а сточная вода проходит через решетку. Осевшие на внутренней стороне корзины загрязнения создают дополнительный фильтрующий эффект. Расположенный в бункере шнек транспортирует загрязнения в контейнер. При транспортировании загрязнений они промываются и уплотняются. Система промывки отходов и пресс

для их отжима встроены в одну установку. Влажность промытого и уплотненного мусора достигает 40–60 %.

Так как система промывки отходов и пресс для их отжима встроены в одну установку, возможна существенная экономия на капитальных и эксплуатационных затратах.

Преимущества барабанных решеток:

- минимальное гидравлическое сопротивление;
- отсутствие необходимости проведения мероприятий по удалению песка;
- максимальная эффективность очистки при минимальных затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание.

2.2 Песколовки

2.2.1 Назначение песколовков, их классификация и принцип работы

Содержащиеся в сточной воде нерастворимые вещества (например, песок, шлак, стеклянная крошка и др.) крупностью 0,15–0,25 мм могут накапливаться в отстойниках, снижая тем самым производительность этих сооружений. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам.

Песколовки предназначены для выделения преимущественно минеральных фракций взвешенных примесей из сточных вод под действием сил тяжести. Предусматриваются в составе очистных сооружений при производительности свыше 100 м³/сут. Количество песколовков или отделений должно быть не менее двух, причем все – рабочие.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные, вертикальные, с вращательным движением (тангенциальные и аэрируемые).

Тип песколовки принимается с учетом производительности очистных сооружений (рисунок 2.7), схемы очистки сточных вод и обработки их осадков, параметров очищаемой сточной воды.



Рисунок 2.7 – Область применения различных типов песколовков в зависимости от производительности очистных сооружений

В песколовках задерживается песок с гидравлической крупностью 18–24 мм/с (крупность 0,2–0,25 мм), что составляет 70 % от общего количества песка, содержащегося в сточных водах.

Скорость горизонтального потока сточных вод в песколовках должна быть в определенных пределах (0,15–0,3 м/с), т.к. чем больше скорость течения воды, тем сильнее турбулентность потока, больше вертикальная составляющая скорости движения воды и тем более крупные частицы будут выноситься с водой; чем медленнее течение, тем более мелкие и легкие частицы будут выпадать в осадок (песколовки рассчитываются таким образом, чтобы только выпадал осадок минерального происхождения, но не органического).

При объеме улавливаемого осадка до 0,1 м³/сут допускается удалять осадок вручную, при большем объеме удаление задержанного песка из песколовков всех типов применяется механический или гидромеханический способ. Выгрузка задержанного песка из песколовков предусматривается не реже одного раза в сутки.

Количество задерживаемого песка для хозяйственно-бытовых сточных вод в песколовках составляет от 0,02 до 0,03 л/(чел·сут) при влажности 60 % и плотности 1,5 т/м³.

Для отключения песколовки на период минимального притока или ремонта до и после нее предусматриваются затворы.

2.2.2 Горизонтальные песколовки

Горизонтальные песколовки применяются при расходах сточных вод свыше 10 000 м³/сут и представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рисунок 2.8).

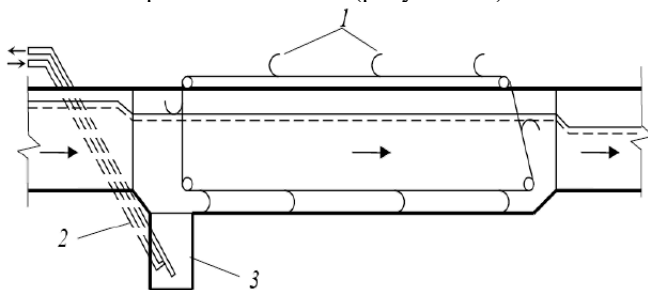


Рисунок 2.8 – Схема горизонтальной песколовки (продольный разрез):

1 – цепной скребковый механизм; 2 – гидроэлеватор; 3 – бункер

Важнейшими элементами горизонтальных песколовков являются:
– входная часть – канал шириной равной ширине песколовки;

- выходная часть – канал, ширина которого сужена до ширины отводящего канала;
- бункер для сбора осадка – располагается в начале песколовки;
- механизм для сбора осадка.

Принцип работы горизонтальных песколовок основан на том, что при движении сточной воды каждая находящаяся в ней нерастворимая частица перемещается вместе со струей воды и одновременно движется вниз под действием силы тяжести со скоростью, соответствующей величине и плотности частицы.

Горизонтальные песколовки оборудуются:

- механизмом для перемещения осадка в бункер;
- гидроэлеватором или насосом для удаления осадка из песколовки и транспортировки его к месту обезвоживания.

Механизмы для перемещения осадка могут быть:

Цепные – состоят из двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками (см. рисунок 2.8). У дна скребки перемещаются в сторону бункера (против направления течения воды), перемещая при этом осадок. Цепи и скребки над песколовкой перемещаются в ее конец (по течению воды).

Тележечного типа – состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по двум рельсам или монорельсу вперед и назад, на которой подвешивается скребок. При возвратном движении скребок поднимается.

Цепные и тележечные механизмы для перемещения осадка сложны и ненадежны, так как эксплуатируются над водой во влажной среде. Некоторые их конструкции имеют подвижные элементы под водой.

Осадок в бункеры может перемещаться с помощью *гидромеханических систем* (рисунок 2.9). Они представляют собой уложенные по дну в лотках смывные трубопроводы со sprысками, сориентированными в сторону бункеров для сбора осадка.

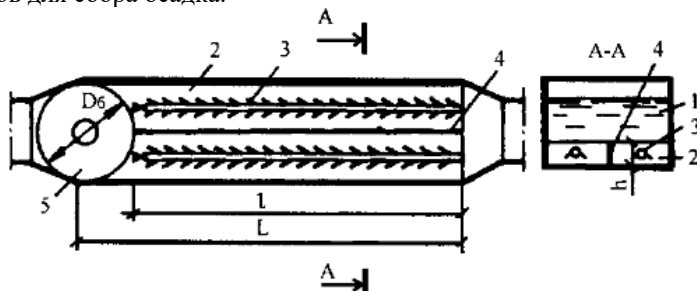


Рисунок 2.9 – Схема горизонтальной песколовки с гидромеханической системой удаления осадка:

- 1 – проточная часть песколовки; 2 – песковой лоток; 3 – смывной трубопровод;
- 4 – перегородка; 5 – песковой бункер

При подаче воды в гидромеханическую систему и истечении воды из sprысков осадок у днища разжижается, а затем смывается в сторону бункера. Взмучивание осадка не происходит, напротив, идет подсос к днищу верхних слоев осадка и последующий смыв их в бункер.

Расход дренажной воды, возвращаемой на очистку, составляет 85 % от расхода воды, прошедшей через гидромеханическую очистку. Концентрация взвешенных веществ в дренажной воде принимается равной 3000 мг/дм^3 .

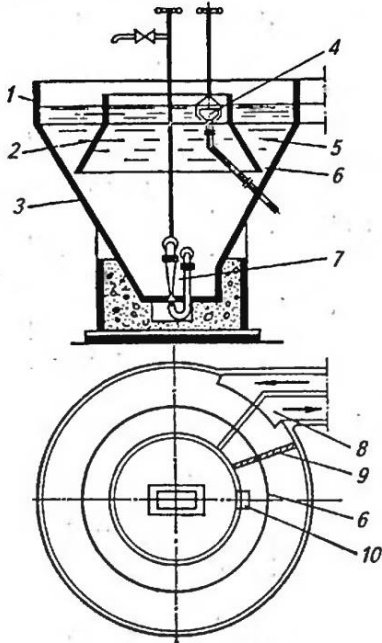


Рисунок 2.10 – Горизонтальная песколовка с круговым движением воды

Песколовка с круговым движением рабочего потока (рисунок 2.10) представляет собой круглый резервуар 1 с коническим дном 3. Проточная часть песколовки в поперечном сечении имеет в верхней части прямоугольную форму, а в основании – треугольную. Внутри резервуара расположены цилиндр с усеченным конусом 2, которые с корпусом песколовки образуют кольцевой лоток 5, имеющий в нижней части щелевое отверстие 6 для отвода осадка. Сточные воды поступают в песколовку по открытому лотку и направляются затем в кольцевой лоток песколовки по тангенциальному вводу. В кольцевом лотке поддерживается скорость $0,15-0,30 \text{ м/с}$. Продолжительность пребывания воды в лотке составляет не менее 30 с. Для поддержания в песколовке постоянного уровня сточных вод на выходе из нее установлен водослив с широким порогом 8. Всплывающие частицы задерживаются в лотке полупогружной перегородкой 9, расположенной перед водосливом. Далее через специальное отверстие 10 во внутренней стенке кольцевого лотка они направляются в центральную часть песколовки. Накопившиеся всплывающие частицы удаляются из песколовки через погружную воронку 4. Выделенный песок удаляется из песколовки гидроэлеватором 7.

Как правило, на очистных сооружениях предусматривается установка двух–четырёх горизонтальных песколовков с общими камерами распределения воды. Пример компоновки двух песколовков с круговым движением приведен на рисунке 2.11.

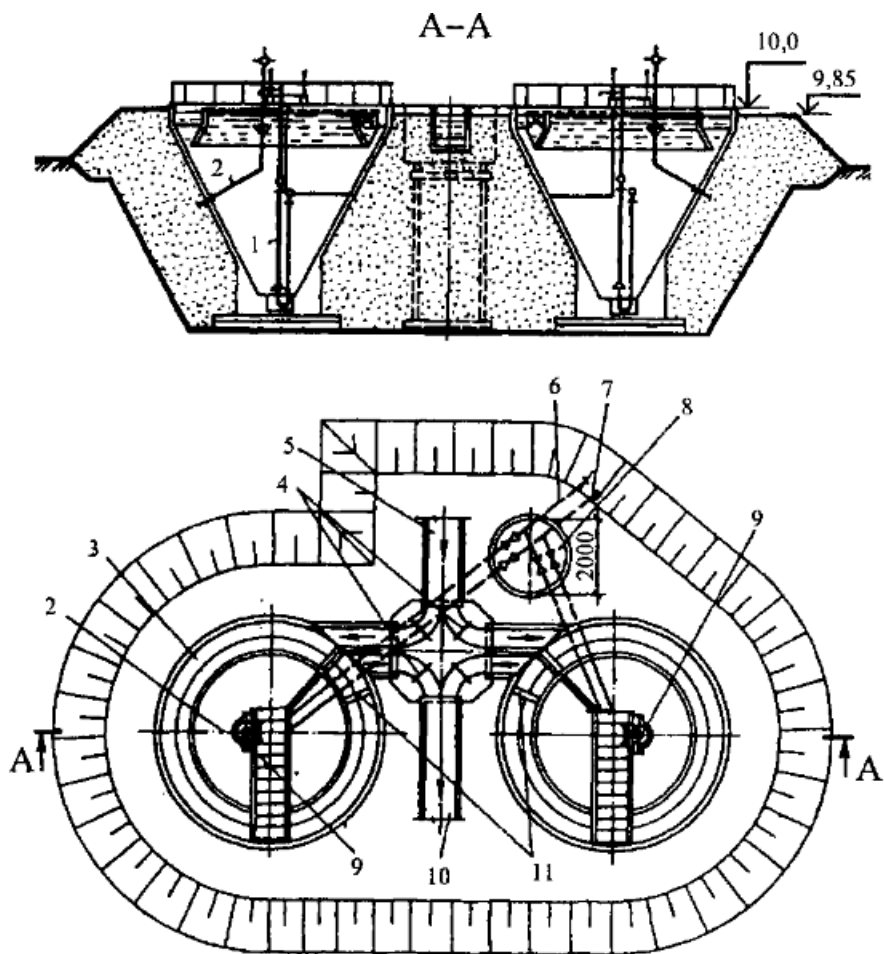


Рисунок 2.11 – Компоновка двух песколовок с круговым движением воды [7]:
 1 – гидроэлеватор; 2 – трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 – желоб;
 4 – затворы; 5 – подводный лоток; 6 – пульпопровод; 7 – трубопровод; 8 – камера
 переключения; 9 – устройство для сбора всплывающих примесей; 10 – отводящий
 лоток; 11 – полупогружные щиты

Допустимая гидравлическая нагрузка для горизонтальных песколовок составляет $180 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Песколовки с круговым движением воды применяются на очистных сооружениях производительностью до $70\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Их преимуществом является отсутствие устройств для сбора песка.

2.2.3 Вертикальные песколовки

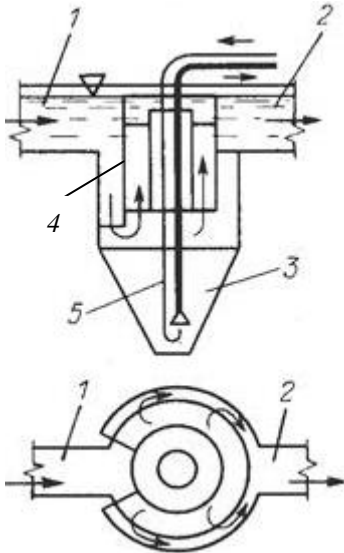


Рисунок 2.12 – Вертикальная песколовка:

1, 2 – подающий и отводящий каналы;
3 – песковый приемок; 4 – струенаправляющие щиты; 5 – гидроэлеватор

Вертикальные песколовки (рисунок 2.12) имеют цилиндрическую форму. Подвод воды осуществляется по касательной с двух сторон в основании, а отвод – кольцевым лотком. В конусной части собирается выпавший осадок.

При вертикальном движении воды вверх песок осаждается вниз. Поэтому скорость восходящего потока должна быть меньше гидравлической крупности улавливаемого песка ($v < u_0$).

Вертикальные песколовки применяются:

- для накопления больших объемов осадка;
- в полураздельных системах водоотведения;
- на станции очистки поверхностных сточных вод.

Недостаток этих песколовков заключается в большой продолжительности пребывания воды в сооружении (120–180 с).

2.2.4 Тангенциальные песколовки

Тангенциальные песколовки имеют круглую в плане форму. Подвод воды производится по касательной, что обеспечивает винтообразное движение: на периферии вода движется вниз, а в центре – вверх.

Тангенциальные песколовки применяются при расходах сточных вод до 75 000 м³/сут и обеспечивают более полное задержание песка с малым количеством органических соединений. Проектируются они диаметром не более 6 м. Гидравлическая нагрузка составляет 110–130 м³/(м²·ч) при максимальном притоке. Глубина песколовки принимается равной половине диаметра.

В *тангенциальной песколовке с вихревой водяной воронкой* (рисунок 2.13) центральная телескопическая труба для отвода воды из песколовки интенсифицирует вращательное движение путем возникновения водяной воронки вокруг приемного отверстия трубы, что способствует улавливанию песка с минимальным содержанием органики.

Отмыв песка от органических примесей производится в процессе его удаления в шнековом пескопромывателе.

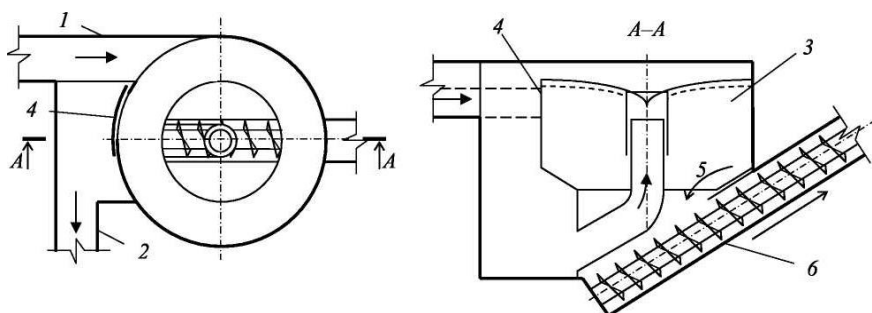


Рисунок 2.13 – Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой [10]:
 1 – подводящий канал; 2 – отводящий канал; 3 – рабочая часть; 4 – регулируемый водослив;
 5 – песок; 6 – шнековый подъемник

2.2.5 Аэрируемые песколовки

Аэрируемые песколовки применяются при расходах свыше $20000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Они являются усовершенствованной конструкцией тангенциальных песколовок и имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечное сечение. Вдоль одной из стенок на глубине $2/3$ от общей гидравлической глубины устанавливаются аэраторы, а под ними устанавливают пековой лоток (рисунок 2.14).

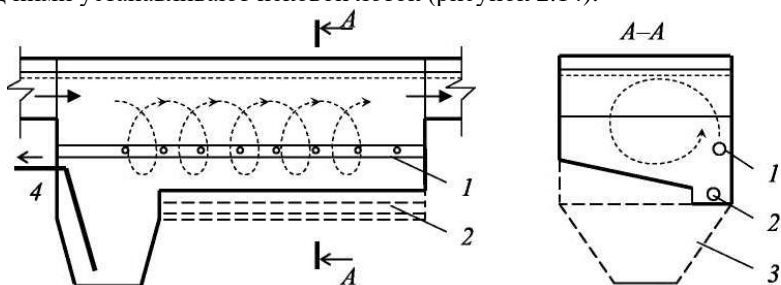


Рисунок 2.14 – Схема аэрируемой песколовки с гидромеханической системой удаления осадка [10]:

1 – дырчатый аэратор; 2 – трубопровод гидросмыва осадка; 3 – осадочная часть; 4 – гидроэлеватор

Поток приобретает вращательное движение с перемещением его у дна от одной стенки к другой. Суммирование поступательного и вращательного движений приводит к винтовому движению воды вдоль песколовки. Продольная скорость составляет $0,05\text{--}0,10 \text{ м/с}$, вращательная скорость – $0,3 \text{ м/с}$. Днищу придают уклон ($i = 0,2\text{...}0,4$) к центральному лотку.

Отношение ширины к глубине отделения принимается 1,0:1,5.

Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.). Для этого вдоль всей песколовки полупогружной перегородкой отделяется специальная зона для выделения и накопления всплывающих загрязнений и предусматривается колодец для отведения плавающих веществ.

Преимуществами аэрируемых песколовки являются устойчивость работы при изменениях расхода и хорошая отмывка песка от органических загрязнений.

2.3 Осветление сточных вод

2.3.1 Назначение и классификация отстойников

Отстаивание является самым простым, наименее трудоемким и дешевым методом выделения из сточной воды грубодиспергированных примесей, плотность которых отличается от плотности воды. Под действием силы тяжести загрязнения оседают на дно или всплывают на поверхность.

В зависимости от назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойные сооружения подразделяются на первичные, вторичные и третичные отстойники (контактные резервуары), илоуплотнители, осадкоуплотнители.

Отстойники классифицируются:

По назначению:

- *первичные* – предназначены для осветления сточных вод перед биологической очисткой;
- *вторичные* – предназначены для гравитационного разделения иловой смеси или отделения био пленки от биологически очищенной сточной воды;
- *специального назначения* – предназначены для выделения из сточной воды определенных примесей.

По направлению движения сточной воды:

- *горизонтальные* – резервуары прямоугольной формы, через которые прямолинейно движется сточная вода;
- *радиальные* – резервуары круглой формы с движением сточной воды от центральной части к периферии или наоборот, подразделяются на: радиальные отстойники с центральным впуском, с периферийным впуском, с вращающимся сборно-распределительным устройством;
- *вертикальные* – резервуары круглой (реже квадратной) формы с движением преимущественно вертикально вниз или вверх, подразделяются на вертикальные отстойники с центральным впуском, с нисходяще-восходящим потоком и с периферийным впуском.

В зависимости от глубины потока, в которой происходит отстаивание:

– *статические отстойники с осветлением в объеме воды* – сооружения, в которых осветление осуществляется в объеме воды с глубиной в несколько метров;

– *тонкослойные отстойники* – сооружения, в которых отстойная зона разделена полочными, трубчатыми или ячеистыми блоками на ряд слоев или потоков небольшой глубины (не превышающей 50 см).

По виду удаления осадка:

– *с гидростатическим удалением* – удаление осадка производится под гидростатическим давлением слоя воды в сооружении;

– *с механическим удалением осадка* – удаление осадка производится насосами или другими устройствами.

По периодичности удаления осадка:

– *отстойники с кратковременным хранением осадка* – длительное хранение и анаэробное сбраживание осадка не предусматривается;

– *отстойники для осветления воды и анаэробного сбраживания осадка* – отстойники, предназначенные для длительного хранения и анаэробного сбраживания осадка.

Отстойники для осветления воды и анаэробного сбраживания осадка по конструктивному исполнению:

– *септики* – одно- или многокамерное сооружение для отстаивания сточных вод с анаэробным сбраживанием осадка;

– *двухъярусные отстойники* – сооружение для отстаивания сточной воды сбраживания и уплотнения выпавшего осадка, выполненное в виде емкости цилиндрической или прямоугольной формы с коническим или пирамидальным днищем, которая оснащена в верхней части осадочными желобами, имеющими щелевые донные отверстия;

– *осветлители-перегниватели* – комбинированное сооружения для осветления сточной воды и сбраживания осадка, состоящее из перегнивателя и осветлителя с естественной аэрацией, концентрически располагаемого внутри перегнивателя.

Первичные отстойники располагаются в технологической схеме очистки сточных вод непосредственно за песколовками и предназначены для выделения взвешенных веществ из сточной воды, что при достигаемом эффекте осветления 40–60 % приводит также к снижению величины БПК₅ в осветленной сточной воде на 20–40 % от исходного значения.

Эффективность снижения БПК₅ в первичных отстойниках, %, для ориентировочных расчетов может определяться по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}_5} = 0,6\mathcal{E}_{\text{взв}}, \quad (2.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{взв}}$ – эффективность удаления взвешенных веществ, %.

Тип первичного отстойника (вертикальный, горизонтальный, радиальный, двухъярусный) принимается с учетом технологической схемы очистки сточных вод и обработки осадка, производительности, очередности строительства, рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод.

Количество отстойников (секций) принимается исходя из надежности их действия при условии, что все они являются рабочими, но не менее двух.

Расчетный объем отстойников (секций) принимается таким образом, чтобы при отключении одних отстойников (секций) перегрузка остальных не превышала 25 %.

Концентрация взвешенных веществ в осветленных сточных водах после отстойников, подаваемых на сооружения биологической очистки с целью полной или частичной очистки от веществ, подверженных биохимической деструкции, не должна превышать **150 мг/дм³** в осветленных сточных водах [24].

Влажность осадка бытовых сточных вод из первичных отстойников составляет 95–96 % при самотечном удалении (под гидростатическим давлением) и 94–95 % – при удалении насосами.

2.3.2 Кинетика осаждения взвешенных веществ

При отстаивании сточных вод процесс происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры, вследствие этого изменяется и скорость их осаждения. Поэтому для сточных вод определенного состава кинетика осаждения устанавливается опытным путем в лабораторных условиях.

Характеристика осаждения взвешенных частиц выражается в виде графиков функциональной зависимости эффекта отстаивания:

- от продолжительности отстаивания;
- гидравлической крупности.

Эффект осаждения взвешенных частиц зависит от высоты слоя воды, в котором происходит отстаивание. Глубина отстаивания в натуральных сооружениях составляет 2–4 м. В лабораторных условиях кинетика процесса отстаивания изучается в цилиндре высотой 500 мм, диаметром 120 мм.

В практике проектирования и эксплуатации первичных отстойников широко распространено использование зависимости эффекта осветления сточной воды от продолжительности ее отстаивания

$$\mathcal{E}_t = \frac{C_{en} - C_t}{C_{en}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где C_{en} – концентрация взвешенных веществ в неосветленной сточной воде, поступающей в отстойники, мг/дм³;

C_t – концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде, после отстаивания в течение времени t , мг/дм³;

Для описания кинетики эффективности осветления сточных вод, %, широко используют эмпирическое уравнение

$$\mathcal{E}_t = (t_{set} / 120)^{a/t} \mathcal{E}_{120}, \quad (2.3)$$

где a – эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя вод, в котором происходит осаждение;

\mathcal{E}_{120} – относительное содержание оседающих веществ сточной воде к общей массе взвешенных веществ:

$$\mathcal{E}_{120} = \frac{(C_{en} - C_{120})}{C_{en}} \cdot 100, \quad (2.4)$$

C_{en} – остаточная концентрация взвешенных веществ после 120 мин отстаивания в покое.

Кривые кинетики осаждения взвесей оказываются подобными при условии

$$\frac{T_{set}}{t_{set}} = \left(\frac{k_{set} H_{set}}{h_{set}} \right)^n, \quad (2.5)$$

где T_{set} – продолжительность осветления в натуре при глубине H_{set} , с;

t_{set} – продолжительность осветления в модели при глубине h_{set} , с;

k_{set} – коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от типа первичных отстойников;

n – показатель степени, отражающий способность взвеси к агломерации (для городских сточных вод 0,2–0,4).

Для расчета отстойников, где происходит седиментация полидисперсной взвеси используется понятие условной гидравлической крупности взвеси, соответствующей заданному эффекту осветления U_0 , мм/с, и определяемой из соотношения

$$U_0 = h_{set} / t_{set}. \quad (2.6)$$

Для проектируемых отстойников условная гидравлическая крупность с учетом седиментационного подобия пересчитывается применительно к глубине отстаивания проектируемого отстойника

$$U_0 = \frac{1000 H_{set}}{t_{set} \left(\frac{k_{set} H_{set}}{h_{set}} \right)^n}. \quad (2.7)$$

Основным условием расчета первичных отстойников является обеспечение задержания в них взвешенных веществ, гидравлическая крупность которых не меньше расчетной условной гидравлической крупности.

В действующих первичных отстойниках условия флокуляции и осаждения взвешенных веществ в потоке движущейся сточной воды существенно отличаются от условий отстаивания в покое. Как следствие достигаемый в производственных условиях эффект снижения концентрации взвешенных веществ не превышает 50–60 %, что бывает существенно ниже содержания оседающих веществ в исходной сточной воде, достигающего 60–80 %.

При расчете отстойников необходимо учитывать особенности гидродинамического режима движения в них воды. В действующих отстойниках гидродинамическая характеристика потока осветляемой воды определяется типом и конструкцией отстойного сооружения, скоростями и направлением впуска сточной воды в зону отстаивания, нагрузкой сточных вод на поверхность отстойника и нагрузкой собираемой осветленной воды на единицу длины водослива.

2.3.3 Горизонтальные отстойники

В практике проектирования горизонтальные первичные отстойники широко используются в очистных сооружениях пропускной способностью 15–100 тыс. м³/сут.

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные в плане резервуары, разделенные продольными перегородками на несколько отделений, в которых поток осветляемой воды, распределяемый по ширине сооружения с помощью лотка с впускными отверстиями, движется горизонтально в направлении водослива сборного канала, расположенного с противоположного торца отстойника (рисунки 2.16, 2.17).

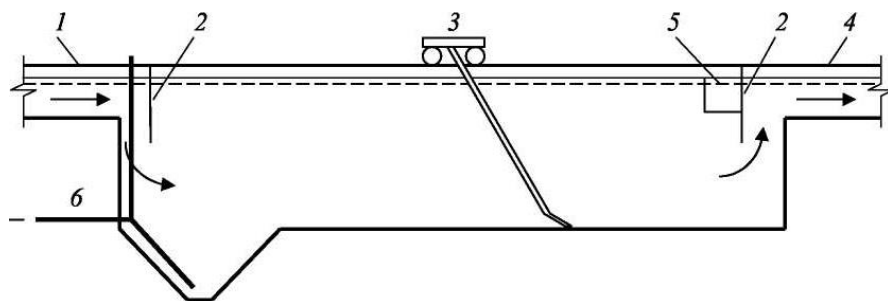


Рисунок 2.16 – Схема горизонтального отстойника [10]:

1 – подводящий лоток; 2 – полупогружная доска; 3 – скребковая тележка; 4 – отводящий лоток;
5 – жиросборный лоток; 6 – удаление осадка

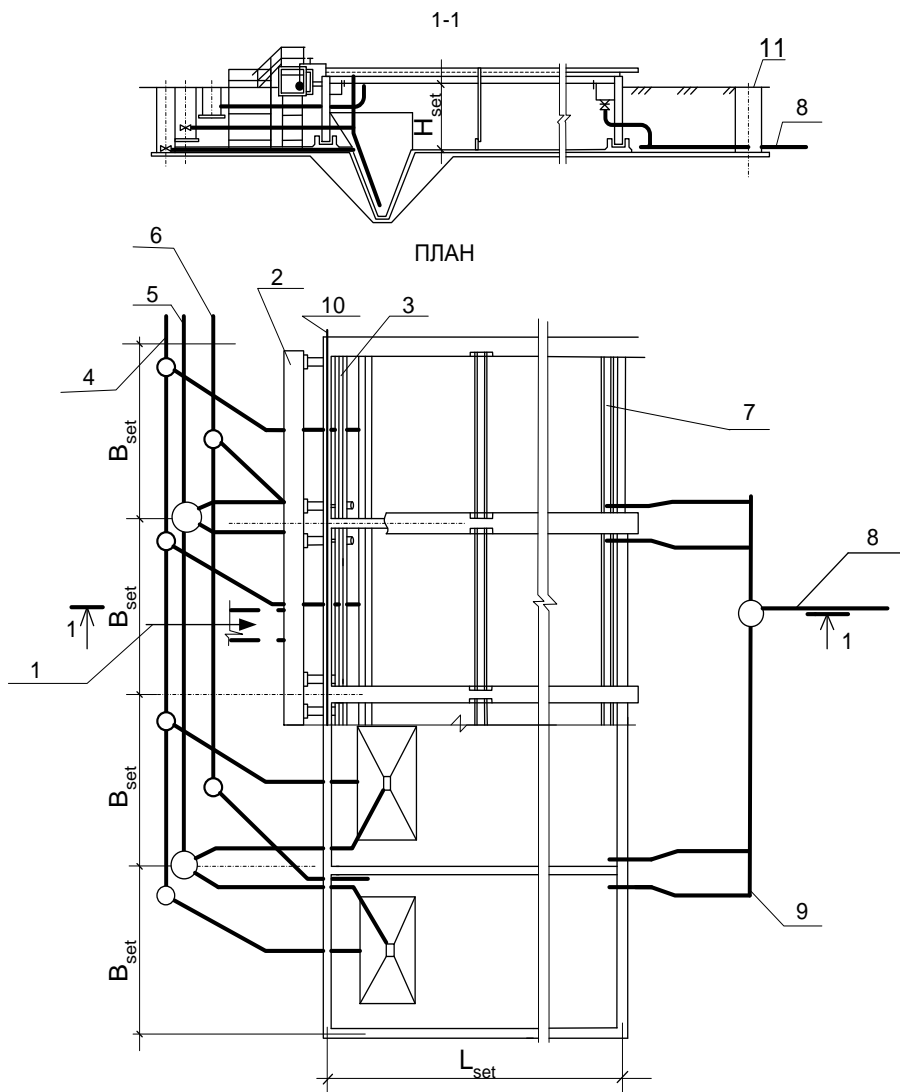


Рисунок 2.17 – Горизонтальные отстойники:

1 – трубопровод подачи сточной воды; 2 – распределительный лоток; 3 – впускной лоток;
 4 – трубопровод сливной воды; 5 – трубопровод удаления осадка; 6 – трубопровод удаления
 плавающих веществ; 7 – сборный лоток; 8 – отведение очищенной воды; 9 – трубопровод
 отвода очищенной воды; 10 – трубопровод подачи воздуха; 11 – колодец очищенной воды;

B_{set} – ширина отделения отстойника; H_{set} – глубина отстойника

Выпадающий по длине отстойника осадок перемещается скребком в расположенные на входе в сооружение иловые приемки, откуда под гидростатическим давлением не менее 15 кПа по трубопроводу диаметром не менее 200 мм поступает в самотечный трубопровод с последующим его отводом на перекачивающую насосную станцию. Вместимость приемков при гидростатическом удалении принимается не менее двухсуточного объема осадка.

Всплывающие нефтемасляные и жировые вещества собираются в конце сооружения в жироборный лоток, из которого также самотеком отводятся на перекачку.

Полупогружные перегородки для удержания всплывших загрязняющих веществ устанавливаются на расстоянии 0,3–0,5 м от водосборных лотков, погружаются под уровень воды не менее 0,3 м.

При проектировании горизонтальных отстойников принимается:

– глубина воды на выходе из отстойника (у водосборных устройств) – не менее 1,5 м;

– гидравлическая нагрузка на водосливы и устройства для перелива или отведения осветленной сточной воды – не более $30 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$;

– высота стенок над уровнем воды – не менее 0,3 м;

– рабочая глубина – от 1,5 до 4,0 м;

– скорость потока сточных вод – от 5 до 10 мм/с;

– уклон днища к иловому приемку – от 0,005 до 0,050;

– подача исходной и сбор осветленной воды – равномерно по ширине впускного и сборного устройств отстойника;

– высота нейтрального слоя – 0,3 м;

– глубину слоя осадка – от 0,3 до 0,5 м;

– угол наклона стенок илового приемка – от 50 до 55°.

– отношение длины к ширине – не менее 3:1.

Преимуществами горизонтальных отстойников являются:

– относительно высокий коэффициент использования объема;

– эффект осветления воды по взвешенным веществам (50–60 %);

– возможность применения в слабых грунтах и при высоком уровне грунтовых вод;

– использование в типовых проектах сооружений унифицированной ширины 6 и 9 м стеновых панелей позволяет проектировать горизонтальные отстойники с шириной, равной ширине аэротенков, и объединять эти сооружения в секции.

Недостатки:

– повышенный расход железобетона по сравнению с вертикальными и радиальными отстойниками;

– неудовлетворительная работа механизмов для сгребания осадка тележечного или цепного типа, особенно в зимний период.

2.3.4 Вертикальные отстойники

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический железобетонный резервуар с конусным или пирамидальным днищем.

Вертикальные отстойники применяются на очистных сооружениях производительностью 2000–20 000 м³/сут. Проектируются по типовым проектам диаметром 4,0; 6,0; 9,0 м, причем диаметр отстойника не должен превышать рабочую глубину более чем в три раза.

В зависимости от *конструкции впускного устройства* вертикальные отстойники подразделяются на три типа:

- с центральным впуском воды;
- нисходяще-восходящим движением воды;
- периферийным впуском воды.

В вертикальных отстойниках с центральным впуском сточная вода подводится лотком к центральной раструбной трубе, опускаясь по которой осветляемая вода отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону осветления (рисунок 2.18). В восходящем потоке осветляемой воды происходит флокуляция частиц взвеси и образующиеся агломерации взвеси, гидравлическая крупность которых превосходит скорость восходящего вертикального потока выпадают в осадок. Более мелкая взвесь выносятся с восходящим потоком воды. Для городских сточных вод скорость восходящего потока составляет 0,5–0,7 мм/с.

Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком, высота гребня водослива которого определяет уровень воды в отстойнике. Всплывающие вещества жирового состава собираются в центре отстойника кольцевым лотком, из которого отводятся трубопроводом в самотечную иловую сеть. Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим давлением не менее 15 кПа через иловую трубу диаметром не менее 200 мм в самотечную иловую сеть. Внизу конуса устраивается площадка диаметром 0,4 м.

Эффективность осветления воды в вертикальных отстойниках с центральным впуском обычно не превышает 40 % по снятию взвешенных веществ. Коэффициент объемного использования составляет 0,35.

Вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком осветляемой воды являются более совершенными с технологической точки зрения (рисунок 2.19). В отстойнике этого типа зона осветления разделена полупогружной перегородкой на две равные по площади зеркала воды части. Сточная вода поступает по лотку в приемную камеру, а затем в лоток, имеющий зубчатый водослив, из которого равномерно переливается и движется по периметру внутренней части отстойника. Отражательный козырек меняет направление движения воды с вертикального на горизонтальное.

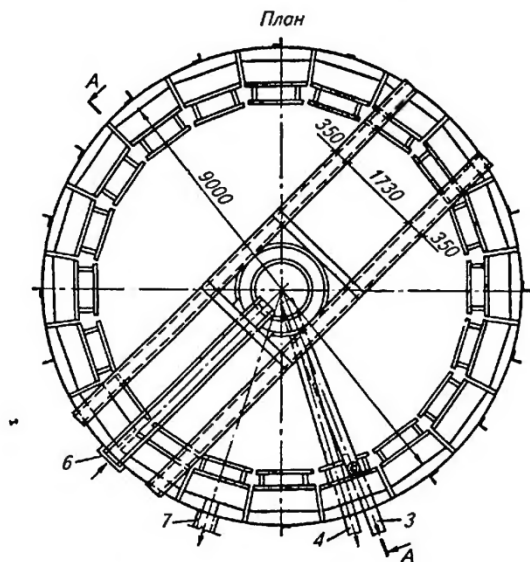
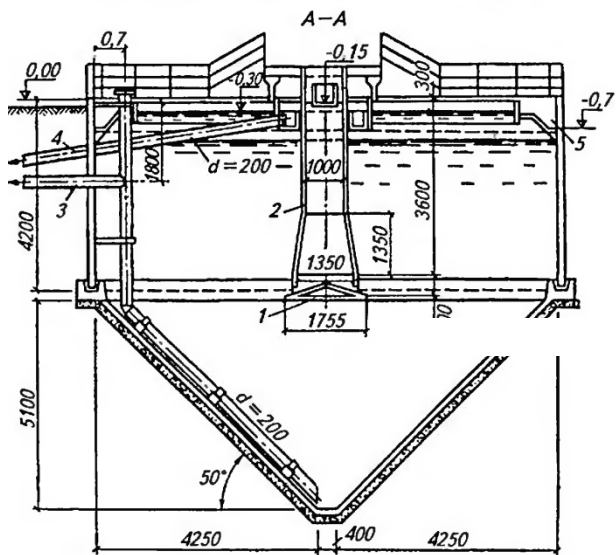


Рисунок 2.18 – Вертикальный отстойник с центральным впуском [7]:

1 – отражательный щит; 2 – центральная труба; 3 – трубопровод отвода осадка; 4 – трубопровод отвода плавающих веществ; 5 – водосборный лоток; 6 – подводящий лоток; 7 – отводящий лоток

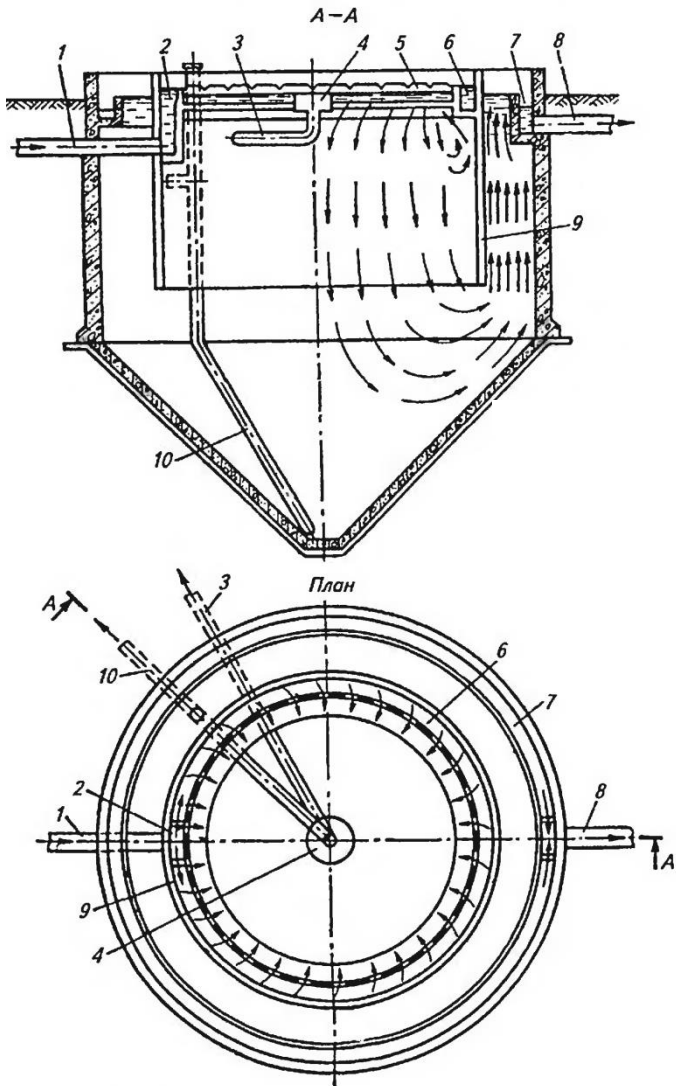


Рисунок 2.19 – Вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком [7]:

1 – подающий трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – трубопровод для удаления плавающих веществ; 4 – приемная воронка для удаления плавающих веществ; 5 – зубчатый водослив; 6 – распределительный лоток; 7 – периферийный лоток для сбора осветленной воды; 8 – отводящий трубопровод; 9 – кольцевая полупогружная перегородка; 10 – трубопровод для отвода ила

По мере передвижения от перегородки к центру вода опускается вниз, распределяясь равномерно по всему сечению внутренней нисходящей части. Основная масса взвешенных веществ успевает выпасть до поступления воды в кольцевую зону, где происходит доосветление воды и сбор ее периферийным лотком. Вплывающие вещества скапливаются у воронки и периодически удаляются через трубу. Осадок удаляется под гидростатическим давлением не менее 15 кПа по иловой трубе диаметром не менее 200 мм.

Эффективность осветления по взвешенным веществам составляет 60–65 %. Коэффициент объемного использования – 0,65.

В вертикальном отстойнике с периферическим впускным устройством (рисунок 2.20) сточная вода подается на водораспределительный лоток переменного поперечного сечения, расположенный по периметру отстойника, и далее через водослив в кольцевую зону, образованную стенкой отстойника и струенаправляющей перегородкой.

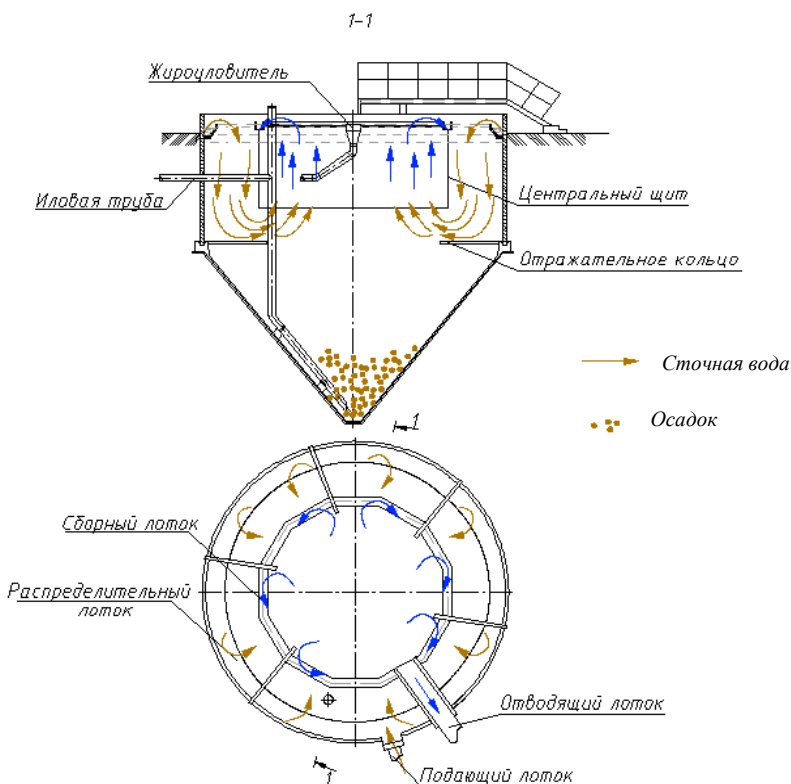


Рисунок 2.20 – Вертикальный отстойник с периферийным впуском

В нижней части кольцевой зоны находится отражательное кольцо, направляющее поток в зону отстаивания, осветленная вода отводится через кольцевой водосборный лоток, в который вода поступает с двух сторон через зубчатый водослив. Всплывающие вещества удаляются через воронку, расположенную в кольцевой зоне.

При проектировании горизонтальных отстойников принимается:

- гидравлическая нагрузка – от 1,0 до 2,0 м³/(м²·ч);
- высота боковой стенки над уровнем воды – не менее 0,3 м;
- скорость движения рабочего потока в центральной трубе – не более 30 мм/с;
- рабочая глубина – от 2,7 до 4,0 м;
- высота нейтрального слоя над уровнем осадка – 0,3 м.

Вертикальные отстойники в сравнении с горизонтальными обладают следующими *преимуществами*:

- простота конструкции и удобство в эксплуатации;
- удобство удаления осадка;
- более низкая стоимость монтажа;
- меньше эксплуатационные расходы;
- длина водослива по периметру достаточно велика, что позволяет свести к минимуму скорость движения воды у водослива и уменьшить вынос взвешенных веществ.

Однако эффект осветления воды в них на 25–30 % ниже, чем в горизонтальных и на 10–15 % ниже, чем в радиальных. При удовлетворительной работе вертикальных отстойников удаляется не более 40 % взвешенных веществ. У вертикальных отстойников более низкая стоимость монтажа и эксплуатации, чем у горизонтальных.

К *недостаткам* вертикальных отстойников относится большая глубина, что удорожает стоимость строительства в слабых грунтах и ограничивает их максимальный диаметр – 9 м.

2.3.5 Радиальные отстойники

Радиальные отстойники применяются на очистных станциях производительностью от 20 тыс. м³/сут. Представляют собой круглые в плане резервуары. Разработаны типовые проекты радиальных отстойников диаметром 18, 24, 30, 40, 50, 54 м.

По конструкции бывают радиальные отстойники:

- с центральным впуском;
- периферийным впуском;
- сборно-распределительным устройством.

В *радиальных отстойниках с центральным впуском* сточная вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии (ри-

сунок 2.21). Скорость изменяется от максимума в центре до минимального значения на периферии. Плавающие вещества удаляются подвесным устройством, размещенным на вращающейся ферме, и поступают в приемный бункер или сборный лоток и отводятся в жиросборник.

Осветленная вода поступает в круглый сборный лоток через один или два борта, являющихся водосливами. Для выравнивания скорости движения воды на выходе из отстойника водосливы выполняют зубчатыми. Нагрузка на 1 м водослива составляет 10 л/с.

Выпавший осадок перемещается в иловый приямок скребками, расположенными на вращающейся ферме. Осадок удаляется с помощью плунжерных и центробежных насосов. При механизированном удалении осадка вместимость приямка определяется по количеству выпавшего осадка за период не более 8 ч.

Эффект осветления по взвешенным веществам достигает 50–55 %.

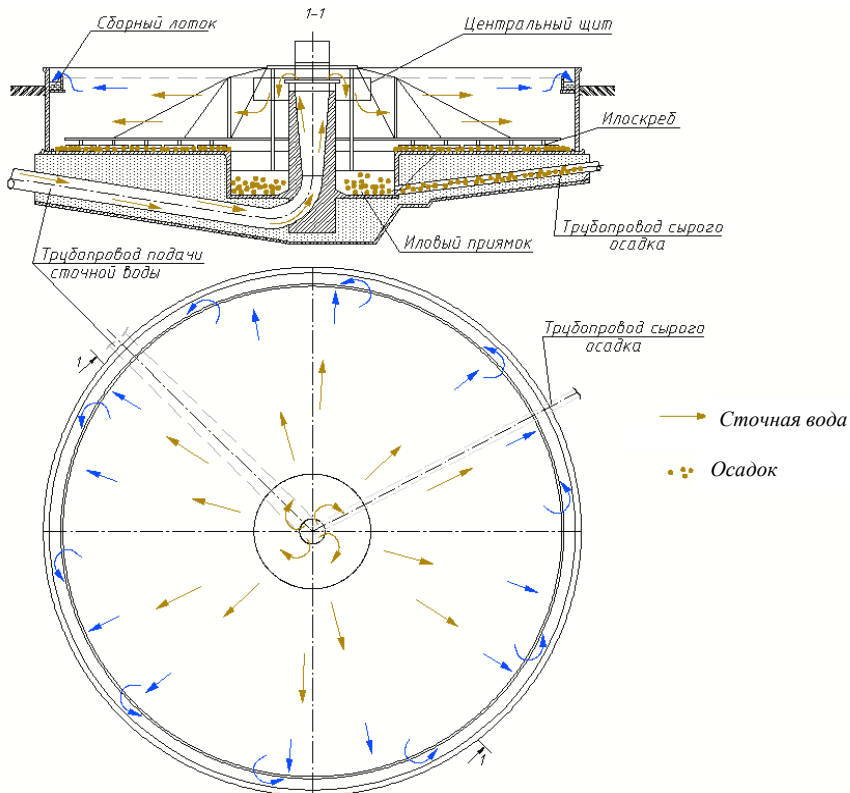


Рисунок 2.21 – Первичный радиальный отстойник

Преимуществами радиальных отстойников с центральным впуском являются простота эксплуатации и низкая удельная материалоемкость.

Недостатком – уменьшение коэффициента объемного использования из-за высоких градиентов скорости в центральной части.

В *радиальный отстойник с периферийным впуском* (рисунок 2.22) сточная вода поступает в водораспределительный желоб, расположенный на периферии отстойника. В дне желоба имеются круглые впускные отверстия, которые обеспечивают постоянную скорость движения воды в желобе, что предупреждает выпадение осадка и создает благоприятные условия для транспортирования плавающих веществ в сборник, расположенный в конце желоба.

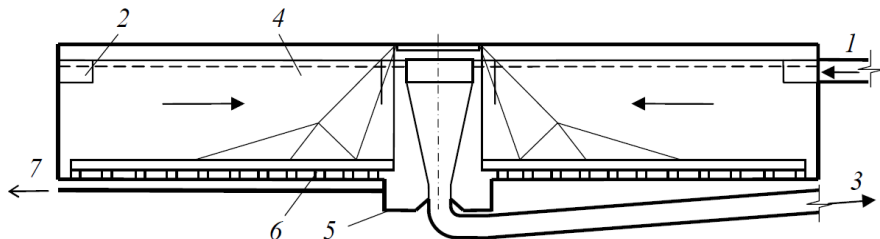


Рисунок 2.22 – Радиальный отстойник с периферийным впуском [10]:

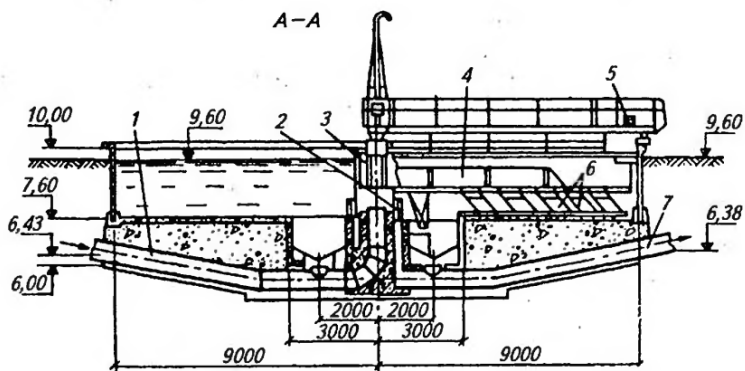
- 1 – подача сточной воды; 2 – водораспределительный желоб; 3 – отводящий трубопровод; 4 – отстойная зона; 5 – иловый приямок; 6 – скребковый механизм; 7 – удаление осадка

Поступившая из отверстий вода направляется вертикальной кольцевой перегородкой в нижнюю зону отстойника. Скорость нисходящего потока постепенно уменьшается и достигает минимума у кольцевого отражателя, направляющего поток в центральную зону отстойника и далее к водоотводящему кольцевому желобу. Движение воды происходит более равномерно по всему живому сечению отстойника, при этом местные завихрения практически отсутствуют.

Преимуществом радиальных отстойников с периферийным впуском является более высокий эффект осветления или меньшая продолжительность отстаивания при одинаковом эффекте осветления.

В *радиальных отстойниках с вращающимся сборно-распределительным устройством* процесс осаждения взвеси максимально приближен к статическим условиям. Подача и отвод производится с помощью свободного вращающегося желоба, разделенного продольной перегородкой на две части. С внутренней стороны лоток ограничен перегородкой, снизу – щелевым днищем, снаружи – распределительной решеткой с вертикальными щелями, снабженной струнаправляющими лопатками (рисунок 2.23).

Щелевое днище выполнено в виде жалюзийной решетки, через поперечные щели которой проваливаются тяжелые частицы.



План

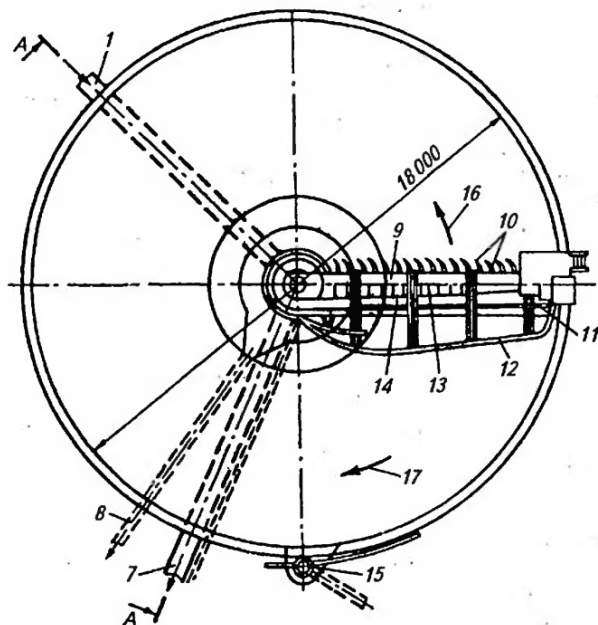


Рисунок 2.23 – Радиальный отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством [7]:

- 1 – подводящий трубопровод; 2 – воздушные затворы; 3 – центральная чаша;
- 4 – сборно-распределительное устройство; 5 – периферийный привод;
- 6 – скребки; 7 – трубопровод отвода осветленной воды; 8 – илопровод; 9 – затопленный лоток;
- 10 – вертикально подвешенные лопатки; 11 – водослив; 12 – полупогружная доска; 13 – щелевое днище; 14 – криволинейная перегородка;
- 15 – камера жиросборника; 16 – направление впуска сточной воды; 17 – направление движения сборно-распределительного устройства

Струнаправляющие лопатки имеют обтекаемую форму и поворачиваются на любой угол, т.е. располагаются таким образом, чтобы продолжительность пребывания отдельных струй в отстойнике практически была одинаковой.

Водосборный лоток с затопленным водосливом имеет водонепроницаемые стенки и днище. Из лотка вода отсасывается сифоном в отводной наружный желоб. Сифон снабжен регулятором расхода. У днища водосборного лотка расположен направляющий козырек.

Радиальные отстойники с периферийным впуском проектируются диаметром 18, 24 и 30 м. Эффективность осветления в них составляет 65 %, коэффициент объемного использования – 0,85.

Количество отстойников принимается не менее двух, причем оба рабочие. Наиболее часто встречается компоновка из четырех отстойников (рисунок 2.24).

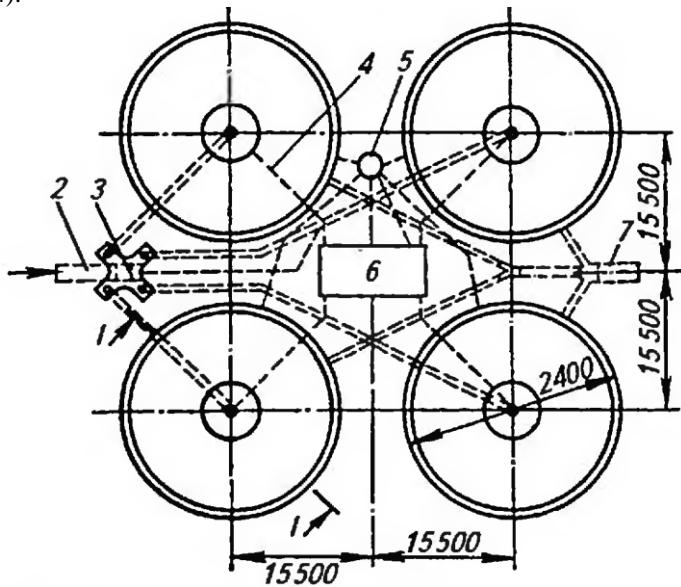


Рисунок 2.24 – Компоновка первичных радиальных отстойников [5]:

- 1 – илоскреб; 2 – подводящий трубопровод; 3 – распределительная чаша;
- 4 – трубопровод сырого осадка; 5 – жиросборник; 6 – насосная станция сырого осадка; 7 – трубопровод отвода осветленной воды

При проектировании радиальных отстойников принимается:

- глубина воды на выходе из отстойника (у водосборных устройств) – не менее 1,5 м;
- гидравлическая нагрузка на водосливы – не более $30 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$;

- высота стенок над уровнем воды – не менее 0,3 м;
- рабочая глубина – от 1,5 до 5,0 м;
- скорость потока сточных вод – от 5 до 10 мм/с;
- уклон днища к иловому прямку – от 0,005 до 0,050;
- подача исходной и сбор осветленной воды – равномерно периметру впускного и сборного устройств отстойника;
- высота нейтрального слоя – 0,3 м;
- глубина слоя осадка – от 0,3 до 0,5 м;
- угол наклона стенок илового прямка – от 50° до 55°.

2.3.6 Септики

Септики – комбинированные сооружения, в которых происходит осветление сточной воды и сбраживание (перегнивание) выпавшего осадка. Септики обычно применяются при очистке небольших количеств сточных вод (до 25 м³/сут), поступающих от отдельно стоящих зданий или группы зданий. В зависимости от расхода сточных вод септики бывают:

- *однокамерные* – при расходе до 1 м³/сут;
- *двухкамерные* – при расходе до 10 м³/сут;
- *трехкамерные* – при расходе свыше 10 м³/сут.

Конструкция двухкамерного септика приведена на рисунке 2.25.

Септики выполняют из сборного железобетона, камня, кирпича, дерева. Взвешенные вещества, содержащиеся в сточной воде, выпадают в осадок, накапливающийся на дне септика. Осадок представляет собой частицы преимущественно органического происхождения. Под действием анаэробных микроорганизмов органическая часть осадка превращается в газы и минеральные соединения. Пузырьки газа поднимаются вверх, к ним прилипают частицы осадка и, таким образом, на поверхности септика образуется корка толщиной 0,35–0,4 м. Корка соприкасается с очищенной водой и вызывает ее вторичное загрязнение, вода на выходе из септика имеет запах сероводорода.

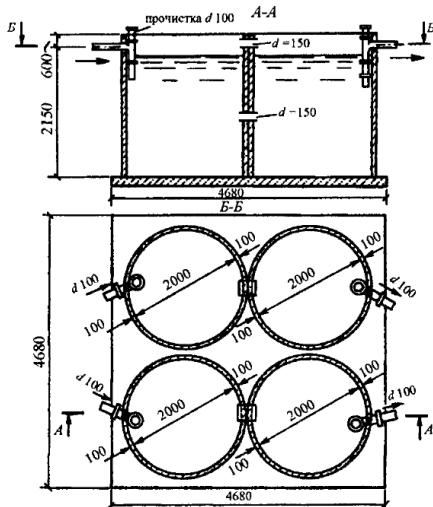


Рисунок 2.25 – Двухкамерный септик из железобетонных колец

Выпавший осадок находится в септике от 6 до 12 месяцев, в течение которых подвергается анаэробному разложению. Осадок удаляется периодически, но не полностью. В септике остается 20 % осадка для задержания вновь поступившей воды.

Влажность осадка, сброженного в септике, составляет 90 %.

Для обеспечения малой скорости движения сточных вод и возможности длительного пребывания осадка объем септиков должен быть большим, что влечет за собой высокую стоимость.

Полный расчетный объем септика принимается равным 3-суточному притоку – при расходе сточных вод до $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ и не менее 2,5-суточному – при расходе более $5 \text{ м}^3/\text{сут}$.

В двухкамерных септиках объем первой камеры принимается равным 0,75, а в трехкамерных – 0,5 расчетного объема. При этом объем второй и третьей камер принимается по 0,25 расчетного объема.

Преимуществом септиков является очень высокий процент осаждения взвешенных веществ.

2.3.7 Двухъярусные отстойники

Двухъярусные отстойники служат для осветления сточных вод, уплотнения и сбраживания выпавшего осадка. Применяются на станциях пропускной способностью до 10 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Представляют собой резервуары цилиндрической или прямоугольной в плане формы. В верхней части сооружений расположены проточные желоба, в которых происходит осветление сточной воды, а в нижней части находится камера сбраживания выпавшего осадка (рисунок 2.26).

Осадочные желоба, по которым протекает сточная вода, выполняют функции горизонтального отстойника, и в них происходит выпадение оседающих взвешенных веществ. Выпавший осадок сползает по наклонным стенкам нижней части желоба в щель и поступает в иловую камеру. Нижние грани желоба должны перекрывать одна другую примерно на 0,15 м, чтобы всплывающие при перегнивании частицы ила и пузырьки газа не попадали в осадочный желоб. Устройство щели частично предотвращает возможность заражения осветленной воды продуктами разложения. Впуск воды в осадочный желоб и выпуск из него выполняют так же, как и в горизонтальных отстойниках: в виде водосливных и сборных лотков на всю ширину желоба. В начале осадочной части устанавливают входную полупогруженную доску для равномерного распределения воды по всему сечению, а в конце – выходную для задерживания на поверхности воды всплывающих частиц. Сброженный ил удаляется из септической камеры вниз (как в вертикальных отстойниках) через иловую трубу диаметром 200 мм под гидростатическим напором 1,5–1,8 м.

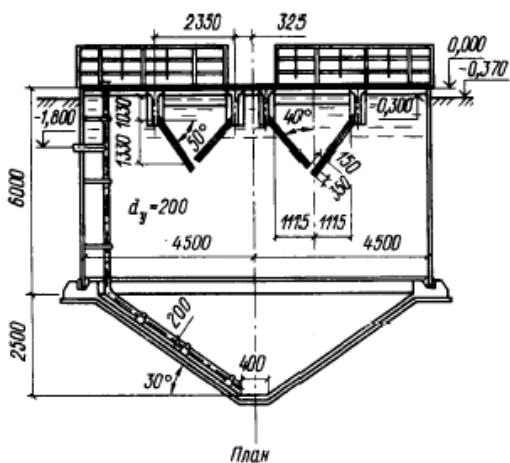


Рисунок 2.26 – Одиночный двухъярусный отстойник:

- 1 – подводящий лоток; 2 – полупогружная доска;
3 – отводящий лоток; 4 – выпуск ила

Осадок, попавший в иловую камеру двухъярусного отстойника, под воздействием анаэробных микроорганизмов минерализуется в мезофильных условиях по двухстадийному процессу, чем существенно отличается от процесса сбраживания в септиках. Первая фаза – кислое брожение, в результате которого сложные органические вещества (белки, жиры и углеводы) расщепляются до кислот жирного ряда. Затем процесс переходит во вторую фазу – метановое брожение, являющуюся при правильной эксплуатации отстойни-

ка постоянной. Продуктами этой фазы минерализации являются метан, диоксид углерода и частично сероводород.

Сбраживание осадка в двухъярусных отстойниках при нормальной их работе идет без выделения дурно пахнущих газообразных продуктов; зрелый осадок имеет характерный слабый запах асфальта или сургуча.

Искусственный подогрев осадка в двухъярусных отстойниках обычно не предусматривается. В большинстве случаев для них характерен температурный интервал от 10 до 15 °С, поэтому для созревания осадка требуется от 60 до 120 дней. Для предохранения иловой части двухъярусных отстойников от охлаждения их заглубляют в землю или обсыпают со всех сторон землей. Поверхность сооружений на зиму следует утеплять.

При среднегодовой температуре воздуха до 3,5 °С двухъярусные отстойники с пропускной способностью до 500 м³/сут размещаются в отапливаемых помещениях, при среднегодовой температуре воздуха от 3,5 до 6 °С и пропускной способности до 100 м³/сут – в неотапливаемых помещениях.

Для ускорения созревания осадка до пуска в эксплуатацию двухъярусных отстойников рекомендуется загрузить в септическую камеру зрелый осадок.

Недостатками двухъярусных отстойников являются:

– большой объем иловой части, что существенно увеличивает стоимость сооружения;

– невыгодное применение при высоком уровне грунтовых вод.

Двухъярусные отстойники предусматриваются как одинарные, так и спаренные. В спаренных отстойниках должна быть предусмотрена возможность изменения направления движения сточных вод в осадочных желобах.

При проектировании двухъярусных отстойников принимается [24]:

– количество отстойников – не менее двух;

– количество желобов – не менее двух;

– расстояние между стенками соседних осадочных желобов – не менее 0,5 м;

– наклон стенок осадочного желоба к горизонту – не менее 50°, при этом стенки должны перекрывать одна другую не менее чем на 0,15 м;

– глубина осадочного желоба – 1,2–2,5 м, так как на большей глубине нельзя достигнуть равномерного протекания воды по всему поперечному сечению;

– ширина щели осадочного желоба – 0,15 м;

– высота нейтрального слоя от щели желоба до уровня осадка в септической камере – 0,5 м;

– уклон конического днища септической камеры – не менее 30°;

– влажность удаляемого осадка – 90 %;

– распад беззольного вещества осадка – 40 %;

– эффективность задержания взвешенных веществ – 40–50 %.

2.3.8 Осветлители-перегниватели

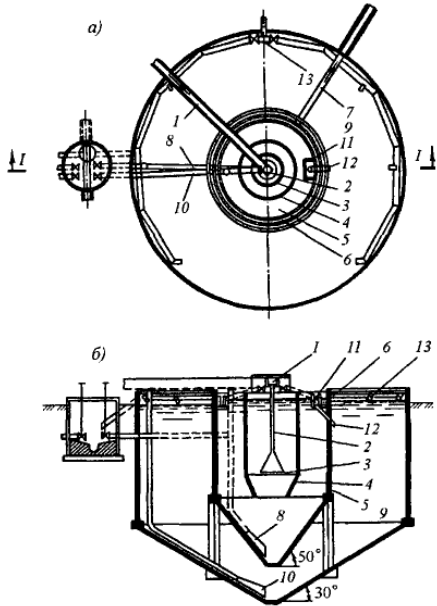
Осветлитель-перегниватель – комбинированное сооружение, состоящее из осветлителя с естественной аэрацией, концентрически расположенного внутри перегнивателя.

Осветлители-перегниватели проектируются в виде вертикальных отстойников с внутренней камерой флокуляции (рисунок 2.27), с естественной аэрацией за счет разности уровней воды в распределительной чаше и осветлителе.

Рисунок 2.27 – Осветлитель-перегниватель:

a – план; *б* – разрез:

1 – подающий лоток; *2* – центральная труба; *3* – отражательный щит; *4* – камера флокуляции; *5* – зона отстаивания (осветлитель); *6* – сборный периферийный лоток; *7* – отводящая труба осветленной воды; *8* – иловая труба; *9* – камера для сбрасывания осадка (перегниватель); *10* – труба для удаления сброженного осадка; *11* и *12* – лоток и труба для удаления корки; *13* – илораспределительная труба



Сточные воды по лотку *1* подаются в центральную трубу *2*, к концу которой прикреплен отражательный щит. Напор воды 0,6 м, обусловленный разностью отметок уровня сточных вод на входе в трубу и в осветлителе, обеспечивает скорость движения в трубе 0,5–0,7 м/с, необходимую для засасывания воздуха из атмосферы.

Воздушная смесь из трубы *6* поступает в камеру флокуляции, где сточная вода находится в течение 20 мин, затем направляется в отстойную камеру, проходя образовавшийся взвешенный слой. Продолжительность пребывания в отстойной камере не менее 70 мин.

Осадок, выпавший на дно осветлителя, по трубе *12* направляется в приемный резервуар насосной станции, откуда насосом по напорному трубопроводу подается в верхнюю зону перегнивателя, в которой осадок подвер-

гается сбраживанию. Для предупреждения образования корки в камере сбраживания осадок периодически перемешивается.

Преимущества:

- разделение зон осветления и сбраживания исключает попадание осадка в очищенную воду;

- перемешивание осадка в иловой камере способствует более интенсивному течению процесса минерализации.

Недостаток: возможно загнивание сточных вод, что ухудшает качество очищенной воды.

При проектировании осветлителей-перегнивателей принимается:

- разность уровней воды в распределительной чаше и осветлителе – 0,6 м без учета потерь напора в коммуникациях;

- вместимость камеры флокуляции – на пребывание в ней сточных вод не более 20 мин;

- глубина камеры флокуляции – 4–5 м;

- скорость движения воды в зоне отстаивания – 0,8–1,5 мм/с, в центральной трубе – 0,5–0,7 м/с;

- диаметр нижнего сечения камеры флокуляции – исходя из средней скорости 8–10 мм/с;

- расстояние между нижним краем камеры флокуляции и поверхностью осадка в иловой части – не менее 0,6 м;

- уклон днища осветлителя – не менее 50°;

- расчетное снижение концентрации загрязняющих веществ по взвешенным веществам – до 70 % и по БПК₅ – до 15 %.

2.3.9 Интенсификация первичного осветления сточных вод

Эффективность задержания в первичных отстойниках взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах, в среднем составляет 40–50 %. При начальных концентрациях взвешенных веществ не менее 300–400 мг/л необходимый эффект первичного осветления может достигать 70–75 %.

Для обеспечения требуемой эффективности первичного осветления необходимо интенсифицировать процесс осаждения взвешенных веществ.

Методы интенсификации работы первичных отстойников делятся на четыре группы:

- *гидродинамические*: совершенствование гидравлической работы сооружений и условий седиментации, тонкослойное отстаивание;

- *технологические*: регулирование уровня осадка и кислородного режима, оптимизация исходной концентрации загрязнений, рециркуляция;

- *химические*: корректировка pH, коагуляция, флокуляция и сорбция;

- *физические*: флотация, контактная флокуляция, магнитное поле, ультразвук, поле центробежных сил, тепловое кондиционирование.

Из всех этих методов наибольшее распространение получило тонкослойное отстаивание и метод использования биофлокулирующих свойств активного ила.

Метод отстаивания в тонком слое заключается в установке в отстойниках блоков из тонкослойных элементов (плоские или рифленные пластины, трубчатые элементы). Повышение эффекта осветления достигается за счет уменьшения времени осаждения взвеси и улучшения гидродинамики осаждения. Существует три схемы расположения тонкослойных модулей в отстойнике (рисунок 2.28).

При перекрестной схеме выделенный осадок движется перпендикулярно движению сточной воды, а при прямоточной и противоточной – соответственно по ходу движения сточных вод или в обратном направлении

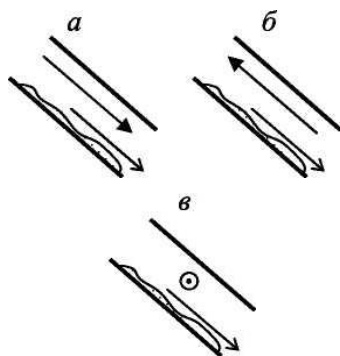


Рисунок 2.28 – Схемы движения воды в тонком слое:
а – прямоточная; б – противоточная;
в – перекрестная

Тонкослойное отстаивание применяется в следующих случаях:

- при необходимости сокращения объема очистных сооружений при неизменном эффекте осветления;
- увеличении эффективности существующих отстойников.

В первом случае тонкослойные отстойники являются самостоятельными сооружениями, во втором – существующие отстойники дополняются тонкослойными модулями, располагаемыми в модифицируемом отстойнике.

Тонкослойные блоки могут встраиваться в горизонтальные (рисунок 2.29), вертикальные или радиальные отстойники. Угол наклона пластин блоков составляет 55–65°, высота яруса – 2,5–20 см. Пластины выполняются в основном из пластмассы.

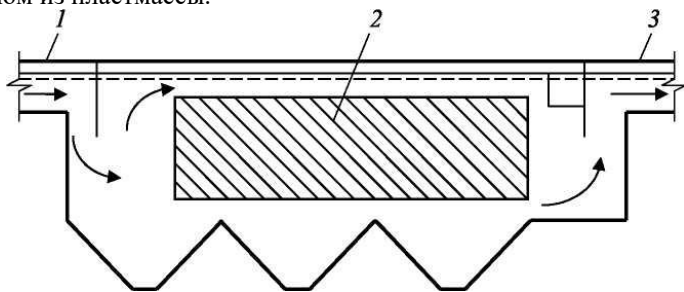


Рисунок 2.29 – Горизонтальный отстойник с тонкослойными блоками [10]:
1 – подача сточных вод; 2 – тонкослойный блок; 3 – отвод осветленной воды

Биофлокуляция – это метод интенсификации процесса отстаивания, заключающийся в добавлении к сточной воде активного ила (биопленки) и аэрации получившейся смеси.

Биофлокуляция осуществляется в *преаэраторах* и *биофлокуляторах*. Они применяются:

- для дополнительного снижения содержания загрязняющих веществ в осветленных сточных водах после первичных отстойников;
- извлечения (за счет сорбции) ионов тяжелых металлов и других загрязняющих веществ, неблагоприятно влияющих на процесс биологической очистки.

Преаэраторы предусматриваются перед первичными отстойниками в виде отдельных пристроенных или встроенных сооружений (рисунок 2.30), биокоагуляторы – в виде сооружений, совмещенных с вертикальными отстойниками (рисунок 2.31).

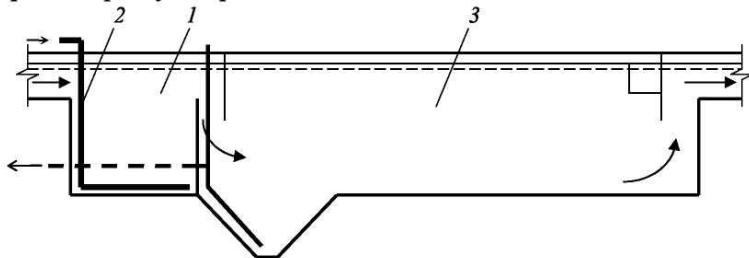


Рисунок 2.30 – Блок преаэратор-первичный горизонтальный отстойник [10]:
1 – преаэратор; 2 – подача воздуха; 3 – отстойник

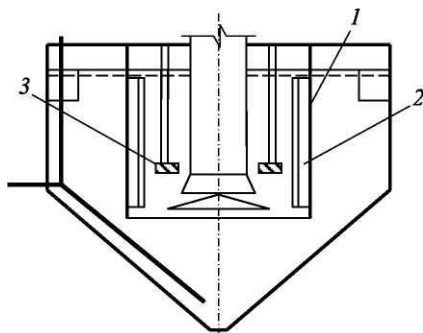


Рисунок 2.31 – Биофлокулятор на базе вертикального отстойника [10]:
1 – кожух преаэратора; 2 – воздухораспределитель; 3 – фильтросные аэраторы

Преаэраторы применяются на станциях очистки с аэротенками, биокоагуляторы – на станциях очистки как с аэротенками, так и с биологическими фильтрами. При использовании биокоагуляторов должны предусматриваться меры, предотвращающие дестабилизацию биологической очистки на последующих сооружениях вследствие массового развития нитчатых форм микроорганизмов.

В преаэраторе необходимо подавать ил после регенераторов. При их отсутствии должна быть предусмотрена возможность регенерации активного ила в преаэраторах, причем вместимость отделений для регенерации принимается равной 0,25–0,30 от их общего объема [24].

Для биологической пленки, подаваемой в биокоагуляторы, должны быть предусмотрены специальные регенераторы с продолжительностью аэрации 24 ч.

В биофлокуляторе вертикального типа (см. рисунок 2.31) камера биофлокуляции образована вокруг центральной трубы двумя кольцевыми перегородками. Вследствие подачи воздуха в фильтросный аэрактор возникает эрлифтный эффект, благодаря которому сточные воды вместе с избыточным активным илом или биопленкой поднимаются в верхнюю часть камеры, а потом опускаются вниз по кольцевому пространству между перегородками и попадают в зону отстаивания.

При проектировании преаэраторов и биокоагуляторов принимается [24]:

– количество секций отдельно стоящих преаэраторов – не менее двух, причем все рабочие;

– продолжительность аэрации сточной воды с избыточным активным илом – 20 мин;

– количество подаваемого избыточного ила от 50 до 100 %, биологической пленки – 100 %;

– удельный расход воздуха – 5 м^3 на 1 м^3 сточных вод;

– увеличение эффективности задержания загрязняющих веществ (по БПК₅ и взвешенным веществам) в первичных отстойниках – на 20–25 %;

– гидравлическая нагрузка на зону отстаивания биокоагуляторов – не более $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

3.1 Основы биологической очистки

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфатионы, часть идет на образование биомассы.

Биологическая очистка является основным методом обработки городских сточных вод.

Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида:

1) с очисткой **в условиях, близких к естественным:**

– *поля фильтрации и орошения* – земельные участки, в которых очистка происходит за счет фильтрации через слой грунта;

– *биологические пруды* – неглубокие водоемы, в которых происходит очистка, основанная на их самоочищающей способности;

2) с очисткой **в искусственно созданных условиях:**

– *биофильтры* – резервуары с фильтрующим материалом, поверхность которого покрыта биологической пленкой (колония микроорганизмов, способных сорбировать и окислять органические вещества из сточных вод);

– *аэротенки* – резервуары, в которых очищаемые сточные воды смешиваются с активным илом (биоценоз микроорганизмов, также способных поглощать органику из сточных вод).

3.1.1 Состав активного ила и биопленки

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших.

Активный ил – биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде. Он пребывает во взвешенном состоянии в виде отдельных хлопьев. Основная роль в нем принадлежит группам бактерий, способным не только извлекать из сточной воды взвешенные и органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии – хлопья, легко отделяемые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией.

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. *Живые организмы* активного ила представлены скоплениями бактерий и одиночны-

ми бактериями, простейшими червями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами и редко – личинками насекомых, рачков, а также водорослями и др.

Сообщество всех живых организмов, населяющих ил, называется *биоценозом*. Биоценоз активного ила в основном представлен двенадцатью видами микроорганизмов и простейших.

Скопления бактерий в активном иле окружены слизистым слоем (капсулами) – *зоогелями*. Они способствуют улучшению структуры ила, его осаждению и уплотнению. Слизистые вещества содержат антибиотики, способные подавлять нитчатые бактерии. Соотношение капсульных и бескапсульных штаммов называется *коэффициентом зоогельности*. Бактерии, лишённые слизистого слоя, с меньшей скоростью окисляют загрязнения.

Активный ил представляет собой амфотерную коллоидную систему, при $pH = 4...9$ имеющую отрицательный заряд. Несмотря на существенные различия сточных вод элементный химический состав активных илов достаточно близок.

Сухое вещество активного ила содержит 70–90 % органических и 10–30 % неорганических веществ. Субстрат, которого в активном иле может быть до 40 % и представляет собой твердую отмершую часть водорослей и различных твердых остатков. К нему прикрепляются организмы активного ила.

В активном иле находятся организмы различных групп, возникновение которых зависит от состава сточных вод, содержания кислорода, температуры, реакции среды, содержания солей окислительно-восстановительного потенциала и других факторов.

По экологическим группам микроорганизмы делятся на *аэробов* и *анаэробов*, *термофилов* и *мезофилов*, *галлофилов* и *галлофобов*. При очистке промышленных сточных вод преобладают аэробные микробы.

В активных илах встречаются представители четырех видов **простейших**: *саркодовые*, *жгутиковые*, *реснитчатые* и *сосущие инфузории*. Они не принимают непосредственного участия в разрушении органических загрязнений, но поглощают большое число бактерий (одна инфузория пропускает через свой организм от 20 до 40 тыс. бактерий), поддерживая их оптимальное содержание в иле. Они способствуют осаждению ила и осветлению сточных вод.

Коловратки – микроскопические организмы длиной 0,01–2,5 мм – существуют только при наличии в сточной воде кислорода. Они питаются бактериями и простейшими.

В активном иле в определенных соотношениях содержатся названные группы бактерий, но в зависимости от состава сточных вод преобладает одна из групп, а остальные ей сопутствуют. Только основная группа бактерий участвует в процессе очистки сточных вод, а сопутствующие группы мик-

робов подготавливают среду для существования микроорганизмов этой основной группы, обеспечивая ее питательными и ростовыми веществами и утилизируя продукты окисления. Биомасса основной физиологической группы бактерий, ведущих процесс окисления, составляет в илах 80–90 %, а остальное – биомасса сопутствующих бактерий и других организмов.

При образовании активного ила сначала появляются бактерии, затем простейшие. Бактерии выделяют вещества, стимулирующие размножение простейших. Они обладают склеивающей способностью, поэтому активный ил представляет собой буровато-желтые комочки и хлопья размером 3–150 мкм. В 1 м³ активного ила содержится $2 \cdot 10^{14}$ бактерий.

Качество ила определяется скоростью его осаждения и степенью очистки сточных вод. Крупные хлопья оседают быстрее, чем мелкие. Состояние ила характеризует *иловый индекс* – отношение объема осаждаемой части активного ила к массе высушенного осадка (в граммах) после отстаивания в течение 30 минут. Чем хуже оседает ил, тем более высокий иловый индекс он имеет.

Биопленка растет на наполнителе биофильтра и имеет вид слизистых обрастаний толщиной 1–2 мм и более. Цвет ее меняется с изменением состава сточных вод от серовато-желтого до темно-коричневого.

Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей и других организмов. В ней встречаются более разнообразные представители простейших, колончаток, червей, чем в активном иле.

Число микроорганизмов в биопленке меньше, чем в активном иле. В 1 м³ биопленки содержится $1 \cdot 10^{12}$ бактерий [5].

3.3.2 Основы метода биологической деструкции и трансформации загрязняющих веществ в системах с активным илом

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности *гетеротрофных* микроорганизмов, которые обладают рядом особых свойств, из которых можно выделить три основных, широко используемых для целей очистки;

- способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования;

- свойство быстро размножаться (в среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин);

- способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений.

В живой клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса – распад молекул (*катаболизм*) и их синтез (*анаболизм*), составляющие в целом процесс обмена веществ – *метаболизм*.

Процессы деструкции потребляемых микроорганизмами органических соединений неразрывно связаны с процессами биосинтеза новых микробных клеток, различных промежуточных или конечных продуктов, на проведение которых расходуется энергия, получаемая клеткой в результате потребления питательных веществ.

Очистка сточных вод в аэротенках происходит с помощью активного ила – биоценоза организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде.

Активный ил в контакте с загрязненными сточными водами в условиях аэрации проходит пять фаз развития (рисунок 3.1):

1 *Лаз-фаза (фаза адаптации)* – наблюдается сразу после введения микробиальной культуры в контакт с питательной средой и в которой практически не происходит прироста биомассы.

2 *Фаза экспоненциального (ускоренного) роста* микроорганизмов – избыток питательных веществ и отсутствие (или весьма незначительное присутствие) продуктов обмена веществ способствуют поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток.

3 *Фаза замедленного роста* – скорость роста биомассы начинает все более сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма в культуральной среде.

4 *Фаза нулевого роста (прекращения роста)* – наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, свидетельствующее о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой.

5 *Фаза эндогенного дыхания (фаза самоокисления)* – из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

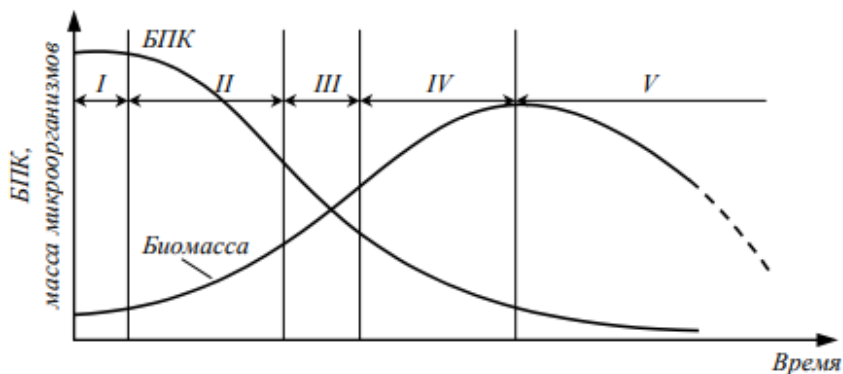


Рисунок 3.1 – Зависимость прироста биомассы и снижения БПК от продолжительности аэрации [5]

Из рисунка 3.1 видно, что отмеченным фазам роста микробиальной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через БПК. Это позволяет сделать следующие выводы:

1) при биологической очистке значительная часть загрязнений сточных вод в результате метаболической активности микроорганизмов и сорбционной способности активного ила превращается в биологическую массу, сравнительно легко отделимую от очищенной воды;

2) длительность изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений будет тем короче, чем дольше масса микроорганизмов будет в контакте с ними;

3) при уменьшении содержания органических веществ в очищаемых сточных водах ниже определенного предела жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы, т. е. отмирания и окисления микроорганизмов со снижением общей их массы (процесс самоокисления).

3.1.3 Закономерности распада органических веществ

Процесс разрушения сложных органических соединений происходит в определенной последовательности и в присутствии катализаторов этих реакций – ферментов, которые выделяются клетками бактерий.

Ферменты – сложные белковые соединения, ускоряющие биохимические реакции.

Ферменты бывают одно- и двухкомпонентные. Двухкомпонентные ферменты состоят из белковой (*апофермент*) и небелковой (*кофермент*) части. Каталитической активностью обладает кофермент, а белковый носитель увеличивает его активность.

Различают ферменты, вырабатываемые бактериями для внеклеточного расщепления веществ – *экзоферменты*, и внутренние пищеварительные ферменты – *эндоферменты*.

Особенность ферментов состоит в том, что каждый из них катализирует только одно из многих превращений. Существуют шесть основных ферментных классов: *оксиредуктазы*, *трансферазы*, *гидралазы*, *лиазы*, *изомеразы*, *лигазы*.

Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. В этом процессе особую роль играют ферменты класса *оксиредуктазы*:

- *дегидрогеназы* – отнимающие водород от субстрата;
- *каталазы* – расщепляют перекись водорода;

– *пероксидазы* – используют активированную перекись для окисления других органических соединений.

Для разрушений сложной смеси органических веществ необходимо 80–100 различных ферментов, каждый из них имеет свою оптимальную температуру, выше которой скорость реакции падает.

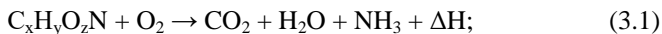
Существуют вещества, которые повышают активность ферментов – *активаторы* (витамины, катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}), и *ингибиторы*, оказывающие противоположное действие (например, соли тяжелых металлов, антибиотики).

Ферменты, которые постоянно присутствуют в клетках, независимо от субстрата, называются *конститутивными*.

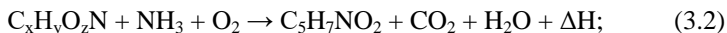
Ферменты, которые синтезируются клетками в ответ на изменение внешней среды, называются *адаптивными*. Срок адаптации составляет от нескольких часов до сотен дней.

Суммарные реакции биохимического окисления в аэробных условиях можно схематично представить в следующем виде:

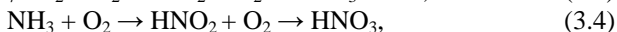
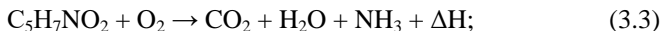
– *окисление вещества для удовлетворения энергетических потребностей клетки (катаболический процесс):*



– *синтез клеточного вещества (анаболический процесс):*



– *реакции превращение клеточного вещества в условиях недостатка питательных веществ:*



где $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}$ – все органические вещества сточных вод;

ΔH – энергия;

$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ – условная формула клеточного вещества бактерий.

Общий расход кислорода на все четыре реакции приблизительно вдвое больше, чем на первую и вторую.

Большое количество биохимических реакций происходит с помощью кофермента А, который активирует карбоновые кислоты, образуя с ними ацилпроизводные.

Легко окисляются бензойная кислота, этиловый и амиловый спирты, гликоли, глицерин, анилин, сложные эфиры и др.

Плохо окисляются нитросоединения, «жесткие» ПАВ, трехатомные спирты и др.

3.1.4 Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов

Основными факторами, влияющими на скорость биохимических реакций, являются:

- концентрации БПК₅, ХПК;
- содержание кислорода в сточной воде;
- температура и рН среды;
- содержание биогенных элементов, тяжелых металлов и минеральных солей.

Сточные воды, направляемые на биохимическую очистку, характеризуются показателями БПК₅ и ХПК.

Контактируя с органическими веществами, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфатионы и др. Другая часть вещества идет на образование биомассы. Разрушение органических веществ называется *биохимическим окислением*. Некоторые органические вещества способны легко окисляться, а некоторые не окисляются совсем или очень медленно.

Биохимической активностью микроорганизмов называется биохимическая деятельность, связанная с разрушением органических загрязнений сточных вод. Биоразлагаемость сточных вод характеризуется через биохимический показатель (соотношение БПК/ХПК), который чем выше, тем лучше идет процесс окисления.

Для неорганических веществ, которые практически не поддаются окислению, установлены максимальные концентрации (таблица А.2). Если такие концентрации превышены, воду нельзя подвергать биохимической очистке. Например, для: меди – 0,5; ртути – 0,02; свинца – 0,1; хлора – 0,3; бора – 0,05; сероводорода – 1; хлорида железа – 5 мг/дм³.

Турбулизация потока сточной воды приводит к увеличению скорости поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, что обеспечивает увеличение скорости очистки. Турбулизация обеспечивается интенсивным перемешиванием подаваемым воздухом или механическим способом.

Повышение температуры сточной воды:

- увеличивает скорость протекания очистки в 2–3 раза (справедливо в пределах температур 20–30°);
- снижает растворимость кислорода, что вызывает необходимость проводить более интенсивную аэрацию.

При более низких температурах замедляется процесс адаптации бактерий к новым видам загрязнений, ухудшаются процессы нитрификации, флокуляции и осаждения активного ила.

Соли тяжелых металлов сорбируются активным илом, снижается биохимическая активность ила и происходит его вспухание из-за интенсивного развития нитчатых форм бактерий.

По степени токсичности тяжелые металлы можно расположить в следующем порядке:

$Sb > Ag > Cu > Hg > Co > Ni > Pb > Cr^{3+} > V > Cd > Zn > Fe$.

В процессе аэрации вода насыщается пузырьками воздуха, затем кислород из пузырьков абсорбируется водой и переносится к микроорганизмам.

Скорость потребления кислорода микроорганизмами не превышает скорость его абсорбции. Скорость потребления кислорода увеличивается с увеличением содержания его в воде, но до определенного предела. Концентрация кислорода в воде, при которой скорость потребления его становится постоянной и не зависит от дальнейшего повышения концентрации, называется *критической* и зависит от природы микроорганизмов и температуры.

Биогенные элементы и микроэлементы являются необходимыми для успешного протекания биохимических реакций в сточной воде. К ним относятся N, S, P, K, Mg, Ca, Na, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Zn, Cu и др. Среди них основными являются N, P и K.

Недостаток азота тормозит окисление органических загрязнителей и приводит к образованию труднооседающего ила.

Недостаток фосфора приводит к развитию нитчатых бактерий и, в результате, к вспуханию активного ила.

3.2 Очистка сточных вод в биофильтрах

3.2.1 Классификация биофильтров

Биологические фильтры (биофильтры) – сооружения, предназначенные для искусственной биологической очистки сточных вод с использованием биоценоза прикрепленных форм микроорганизмов.

Биофильтры применяются как основные сооружения биологической очистки при одноступенчатой схеме либо в качестве первой или второй ступени при двухступенчатой схеме очистки при производительности очистных сооружений до 50 000 м³/сут.

Биофильтры классифицируются:

В зависимости от режима работы:

– *орошаемые* (незатопленные) – включают загрузку, которая является носителем биопленки, устройства для распределения сточных вод по поверхности загрузки и отведения очищенных сточных вод, систему вентиляции;

– *ротационные* – емкости с очищаемыми сточными водами, в которые частично погружены вращающиеся устройства (в виде дисков, барабанов

или других конструкций), являющиеся носителями биопленки, и механизмы для передачи крутящего момента;

– *затопленные* – включают носитель биопленки (загрузку погруженную в очищаемые сточные воды), устройства для распределения воздуха и отведения очищенных сточных вод. Загрузка затопленных биофильтров может быть плавающей в очищаемых сточных водах, или из материалов с плотностью, превышающей плотность воды, или же в виде жестко закрепленных объемных конструкций.

Биофильтры применяются для очистки сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации (орошаемые, ротационные, затопленные), а также для денитрификации и удаления фосфора (затопленные).

По *степени очистки*: на полную и неполную биологическую очистку;

По *способу подачи воздуха*: с искусственной аэрацией (аэрофильтры) и с естественной подачей воздуха.

По *режиму работы*: с рециркуляцией сточной воды и без рециркуляции.

По *технологической схеме*: одно- и двухступенчатые биофильтры.

По *пропускной способности*: малой пропускной способности (капельные биофильтры) и большой (высоконагружаемые).

По *виду и особенностям загрузочного материала*:

– с объемной загрузкой (щебень, гравий, твердые горные породы, кокс, керамзит);

– плоскостной загрузкой, которая подразделяется:

– на *жесткую засыпную*: керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы;

– *жесткую блочную* – выполняться из различных видов пластмассы (гофрированные и плоские листы или пространственные элементы), а также из асбестоцементных листов;

– *мягкую или рулонную* загрузку, выполненную из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов.

Параметры объемной и плоскостной загрузки приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики загрузочных материалов биофильтров [7]

Тип загрузки	Пористость, %	Плотность, кг/м ³	Крупность фракций, мм	Удельная поверхность, м ² /м ³
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

Загрузочный материал биофильтров должен выдерживать температуру от 6 до 30 °С без потери прочности.

Все применяемые для загрузки естественные и искусственные материалы, за исключением пластмасс, должны выдерживать:

- давление не ниже 0,1 МПа при насыпной плотности до 1000 кг/м³;
- не менее чем пятикратную пропитку насыщенным раствором сульфата натрия;
- не менее 10 циклов испытаний на морозостойкость;
- кипячение в течение одного часа в 5%-ном растворе соляной кислоты, масса которой должна превышать массу испытываемого материала в три раза.

После испытаний нагрузочный материал не должен иметь заметных повреждений и его масса не должна уменьшаться более чем на 10 % от первоначальной массы.

Загрузка фильтров по высоте должна быть выполнена из материала одинаковой крупности с устройством нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м, из материала крупностью от 70 до 100 мм.

3.2.2 Принципы очистки сточных вод в биофильтрах

Орошаемый биофильтр состоит из следующих частей (рисунок 3.2):

- фильтрующей загрузки, помещенной в резервуар круглой или прямоугольной формы в плане (тело биофильтра);
- водораспределительного устройства для равномерного орошения сточной водой поверхности загрузки;
- дренажного устройства для удаления профильтрованных сточных вод;
- воздухораспределительного устройства для поступления воздуха внутрь биофильтра;
- устройства для опорожнения на случай кратковременного прекращения подачи сточной воды зимой;
- устройства для промывки днища.

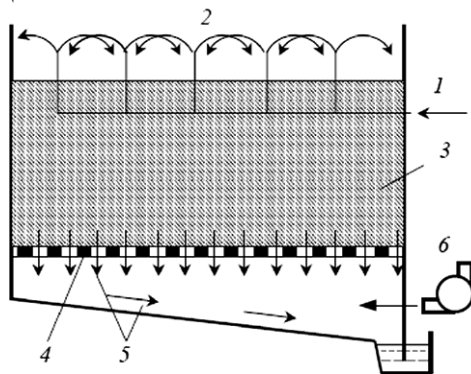


Рисунок 3.2 – Разрез биофильтра [9]:
1 – подача сточной вод; 2 – водораспределительное устройство; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – дренажное устройство; 5 – очищенная сточная вода; 6 – воздухо-распределительное устройство

Орошаемые биологические фильтры проектируются в виде резервуаров со сплошными стенками и двойным дном: нижним – сплошным, а верхним – решетчатым (колосниковая решетка) для поддержания загрузки.

При этом принимается:

- высота междудонного пространства – не менее 0,6 м;
- уклон нижнего днища к сборным лоткам – не менее 0,010;
- продольный уклон сборных лотков – по конструктивным соображениям, но не менее 0,005.

Фильтруясь через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворимые примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической пленкой.

В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биопленки может составлять от микрон в верхних его слоях до 3–6 мм в нижних.

Толщина образующейся биопленки зависит :

- от гидравлической нагрузки;
- концентрации органических веществ;
- от пористости и удельной поверхности загрузочного материала;
- влияния внешней среды и многих других факторов.

Микроорганизмы биопленки в процессе ферментативных реакций окисляют органические вещества, получая при этом питание и энергию, необходимые для своей жизнедеятельности. Часть органических веществ микроорганизмы используют как материал для увеличения своей массы и преобразования загрязнений в простые соединения (вода, минеральные соединения и газы). В результате из сточной воды удаляются органические загрязнения, проходят процессы денитрификации и увеличивается масса биологической пленки.

Отработавшая и омертвевшая пленка смывается и выносится из тела биофильтра протекающей сточной водой. Количество избыточной биопленки, выносимой из биофильтров принимается [24]:

- для капельных фильтров – 8 г/(чел·сут) по сухому веществу;
- аэрофильтров – 28 г/(чел·сут).

Влажность биопленки принимается 96 % [24].

Необходимый для биохимического процесса кислород поступает в толщу загрузки путем естественной или искусственной вентиляции фильтра.

Эффективность и пропускная способность биофильтров зависят от многих факторов: влияния окружающей среды, состава и режима сточных вод, эксплуатации, конструкции биофильтров, видового состава биопленки и др.

В зависимости от производительности станции очистки, режима притока сточных вод, их температуры в зимний период биофильтры размещаются открыто вне зданий и в помещениях (отапливаемых или неотапливаемых),

что обосновывается теплотехническим расчетом с учетом опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

Количество секций или биофильтров должно быть не менее двух, при этом все они должны быть рабочими.

3.2.3 Технологические схемы работы биофильтров

В классической схеме на биофильтрах **процесс очистки сточных вод осуществляется** в проточном режиме с периодическим или непрерывным орошением поверхности загрузочного материала и *включает* сооружения биофильтрации и вторичного отстаивания, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточной воды, отведения и рециркуляции очищенной воды, вентиляции биофильтров.

По технологической схеме работы биофильтры могут быть одно- и двух-ступенчатыми, при этом режим работы назначается как с рециркуляцией, так и без нее. В некоторых случаях биофильтры применяются в качестве сооружений первой или второй ступени биологической очистки в комплексе с другими биоокислителями (рисунок 3.3).

Рециркуляция предусматривается при БПК₅ более [24]:

– 150 мг/дм³ – для капельных биофильтров;

– 200 мг/дм³ – для аэрофильтров;

– 170 мг/дм³ – 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 может осуществляться [24]:

в одноступенчатой схеме:

– подачей осадка или смеси осадка и сточной воды из вторичных отстойников в поток сточных вод перед первичным отстойником;

– подачей смеси осадка из вторичных отстойников и очищенной воды после биологического фильтра в поток сточных вод перед первичным отстойником;

– подачей очищенной воды после вторичного отстойника а поток сточных вод перед биологическим фильтром (см. рисунок 3.3, б), с возможным дополнительным рециркуляционным контуром с подачей осадка из вторичных отстойников в поток сточных вод перед первичным отстойником;

– подачей смеси осадка и сточной воды из вторичных отстойников в поток сточных вод перед первичным отстойником с дополнительным рециркуляционным контуром с подачей очищенной воды после вторичного отстойника о поток сточных вод перед биологическим фильтром;

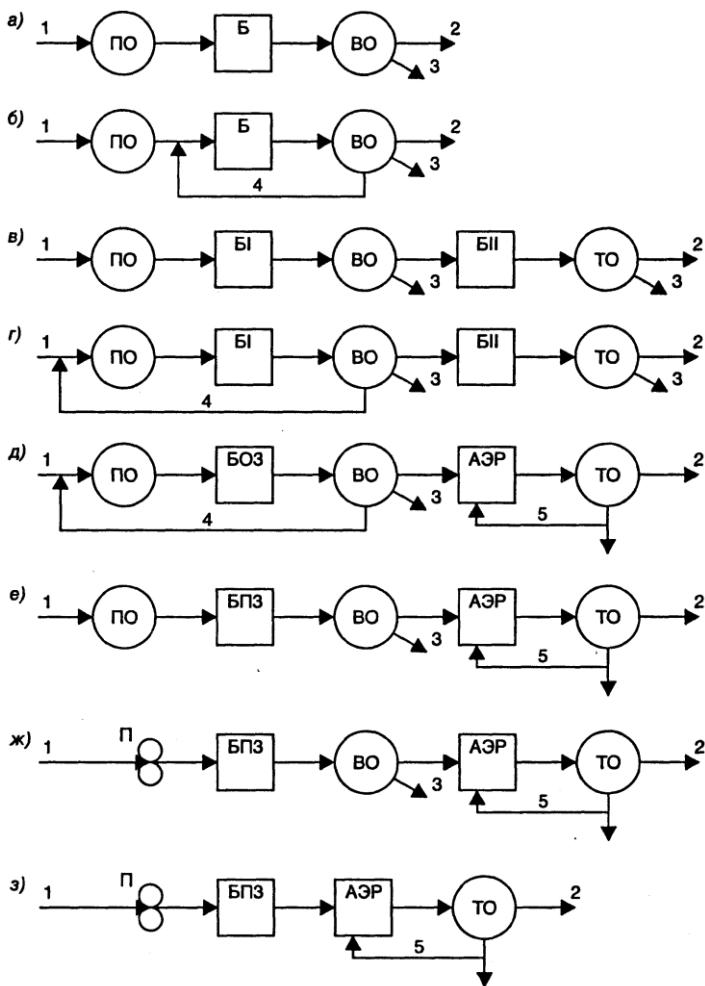


Рисунок 3.3 – Технологические схемы работы биофильтров [5]:

а – одноступенчатая; *б* – одноступенчатая с рециркуляцией; *в* – двухступенчатая; *г* – двухступенчатая с рециркуляцией; *д* – двухступенчатая с биофильтрами с объемной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; *е* – двухступенчатая с биофильтрами с плоскостной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; *ж* – то же, но без первичного отстаивания перед биофильтрами с плоскостной загрузкой; *з* – то же, но без вторичного отстаивания перед аэротенком; 1 – осветленные сточные воды после сооружений механической очистки; 2 – биологически очищенные сточные воды; 3 – избыточная биопленка; 4 – подача сточных вод на рециркуляцию; 5 – рециркуляционный активный ил; Б – биофильтр; Б-I – биофильтр первой ступени; Б-II – биофильтр второй ступени; БОЗ – биофильтр с объемной загрузкой; БПЗ – биофильтр с плоскостной загрузкой; АЭР – аэротенк; ПО – первичный отстойник; ВО – вторичный отстойник; ТО – третичный отстойник; П – песколовки

в двухступенчатой схеме:

– подачей осадка из вторичных отстойников в поток сточных вод перед первичным отстойником с дополнительным рециркуляционным контуром с подачей очищенной воды после второй ступени биологического фильтра в поток сточных вод перед биологическим фильтром первой ступени:

– подачей осадка из вторичных отстойников первой и второй ступени в поток сточных вод перед первичным отстойником с двумя дополнительными рециркуляционными контурами с подачей очищенной воды после биологического фильтра первой и второй ступени в поток сточных вод перед, соответственно, биологическим фильтром первой и второй ступени;

– подачей осадка из вторичных отстойников первой и второй ступени в поток сточных вод перед первичным отстойником с двумя дополнительными рециркуляционными контурами с подачей очищенной воды после вторичных отстойников, фильтров первой и второй ступени в поток сточных вод перед соответственно, биологическим фильтром первой и второй ступени.

3.2.4 Биофильтры с объемной загрузкой

Биофильтры с объемной минеральной загрузкой применяются для полной или частичной очистки сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации.

Орошаемые биофильтры с объемной минеральной загрузкой подразделяются на *капельные, высоконагружаемые и башенные* (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Характеристики орошаемых биофильтров [7]

Показатель	Капельные	Высоконагружаемые (аэрофильтры)	Башенные
Крупность фракций загрузочного материала, мм	20–40	40–70	60–80
Рабочая высота, м	1,5–2,0	2,0–4,0	8–16
Применение при производительности станции, м ³ /сут, не более	1000	50 000	5000
Гидравлическая нагрузка, м ³ /м ² ·сут	1,0–3,0	10–30	–

В капельном биофильтре (рисунок 3.4) сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофильтра в виде капель или струй. Профильтрованная вода попадает в дренажную систему и далее по сплошному днищу биофильтра стекает к отводным лоткам, расположенным за пределами фильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых выносимая пленка отделяется от очищенной воды. Естественная вентиляция происходит через открытую поверхность биофильтра и дренаж.

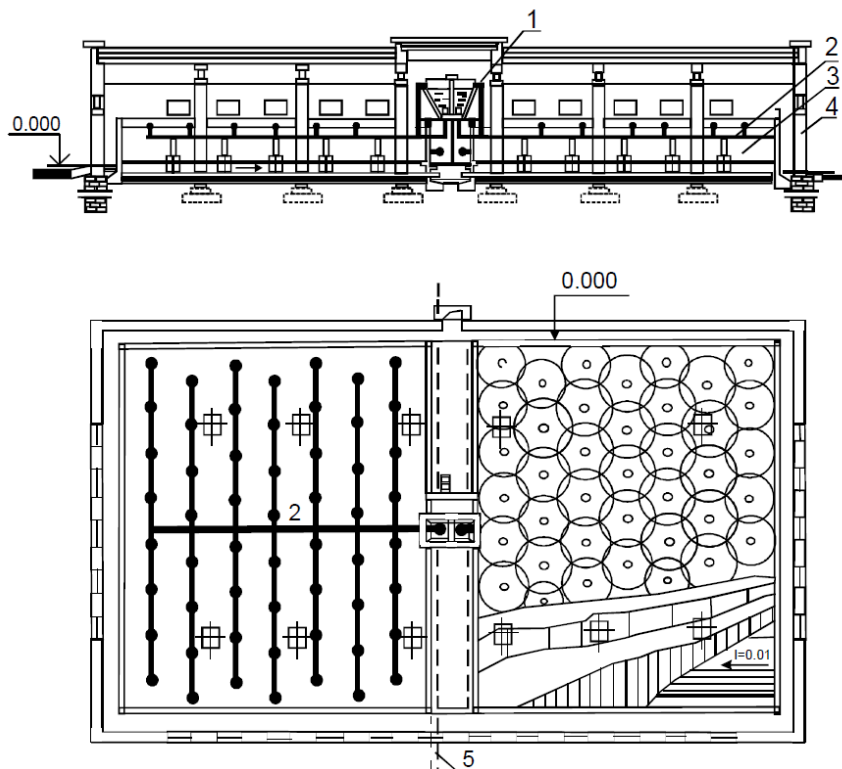


Рисунок 3.4 – Капельный биофильтр [5]:
 1 – дозирующие баки сточной воды; 2 – спринклеры; 3 – загрузочный материал;
 4 – стены биофильтра; 5 – подача сточных вод в биофильтр

Размещаются капельные биофильтры в отапливаемом здании.

Их *недостатками* являются низкая производительность и частые заилинения поверхности загрузочного материала, которые обычно возникают из-за превышения допустимой нагрузки по загрязнению [9].

Конструктивными отличиями **высоконагружаемых биофильтров** (рисунок 3.5) являются:

- большая высота слоя загрузки,
- большая крупность фракций;
- особая конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом.

В закрытое междудонное пространство биофильтра вентилятором подается воздух, а на отводных трубопроводах предусматриваются гидравлические затворы глубиной 200 мм.

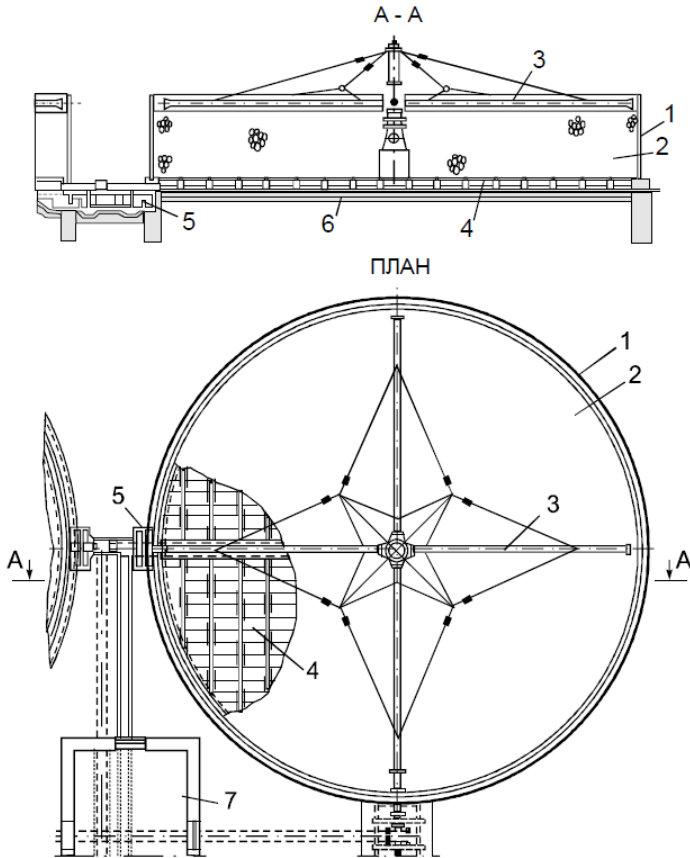


Рисунок 3.5 – Высоконагружаемый биофильтр [5]:

1 – корпус; 2 – загрузка; 3 – реактивный ороситель; 4 – дренажная решетка; 5 – гидравлический затвор; 6 – сплошное днище; 7 – вентиляционная камера

Высоконагружаемые биофильтры проектируются как с естественной, так и с искусственной аэрацией (аэрофильтры).

Аэрофильтры требуют равномерного орошения всей поверхности с возможно малыми перерывами в подаче воды и поддержание повышенной нагрузки по сточным водам. Удельный расход воздуха составляет $8\text{--}12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ с учетом рециркуляционного расхода [24].

Башенные биофильтры в сравнении с капельными имеют большую окислительную мощность, что обусловлено меньшей заиляемостью и лучшим воздухообменом. Но они не получили распространения.

При проектировании орошаемых биофильтров расчетные параметры определяются в зависимости от состава и расхода сточных вод, требуемой степени очистки.

Крупность загрузочного материала для орошаемых биофильтров принимается по таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Крупность загрузочного материала орошаемых биофильтров

Биофильтры (загружаемый материал)	Крупность материала загрузки, мм	Количество материала, % (по массе), остающегося на контрольных ситах с отверстиями диаметром, мм					
		70	55	40	30	25	20
Высоконагружаемые (щебень)	40–70	0–5	40–70	95–100	–	–	–
Капельные (щебень)	25–40	–	–	0–5	40–70	90–100	–
Капельные (керамзит)	20–40	–	–	0–8	–	–	90–100

Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ не должна превышать:

– 0,4 кг/(м³·сут) – при полной или частичной очистке сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению;

– 0,2 кг/(м³·сут) – при полной или частичной очистке сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации.

3.2.5 Биофильтры с плоской загрузкой

Биофильтры с плоскостной (пластмассовой) загрузкой применяются как самостоятельные сооружения биологической очистки сточных вод с целью полной или частичной очистки сточных вод от веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации, а также могут использоваться в качестве сооружений первой ступени очистки.

Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ для биофильтров с пластмассовой загрузкой определяется в зависимости от удельной площади поверхности загрузки по таблице 3.4. Основные виды серийно выпускаемых плоскостных загрузочных материалов представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ для биофильтров с пластмассовой загрузкой

Вид очистки	Удельная площадь поверхности загрузки, м ² /м ³		
	100–150	150–200	Свыше 200
Биологическая очистка без нитрификации	0,4	0,6	0,8
Биологическая очистка с нитрификацией	0,2	0,3	0,4

Таблица 3.5 – Плоскостные загрузочные материалы [5]

Загрузка	Материал	Страна изготовитель	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Удельная поверхность, м ² /м ³
Полигрид	Полистирол	США	80	95	45
Доупак	Саран	США	60	94	82
Сэфпак	Полистирол	США	48–64	94	90–187
Клоизомил I, II	ПВХ	Франция	70–80	94–95	180–220
Корозил	ПВХ	США	43–68	95–97	122
Пласдек	ПВХ	Швеция	28–70	95–98	100–230
Фловик А, В, С	ПВХ	Великобритания	38–76	95–97	86–160
Гидропак	ПВХ	Германия	31–67	94–98	200
Зульцер	ПВХ	Швейцария	140	90	450
Биопак	Полистирол	–	75	93	124
НСВ	Полистирол	–	41	96	73
Сложная волна	Полиэтилен	Россия	40	96	80
Флорек Е, М, Р	ПВХ	Великобритания	39–70	96	90–330
Эваллпорит	ПВХ	Германия	50	94	160
Кларпак ВР-Т	ПВХ	Польша	28	98	135
ЗОЗП	Полиэтилен	РФ	60	95	120
Трак	ПВХ	РФ	20	97	140
Трактор	ПВХ	РФ	48	94	187

Биофильтры с плоскостной загрузкой могут быть круглыми, многогранными или прямоугольными в плане (рисунок 3.6) со сплошными стенками и двойным дном. Рабочая высота составляет 3–4 м. Гидравлическая нагрузка – 6–8 м³/м²·сут [24].

На производительность биофильтра с плоскостной загрузкой большое влияние оказывает конфигурация загрузочного материала. Производительность сложных загрузочных материалов на 60 % выше в сравнении с гладкими. В загрузочных материалах, где очищаемые сточные воды движутся строго вертикально по гладкой поверхности – гидравлический режим laminarный. В загрузочном материале со сложной формой поверхности, где поток отклоняется по вертикали – режим движения турбулентный.

Плоскостная загрузка в сравнении с объемной имеет:

- меньшую плотность, что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции;
- высокую пористость, что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и сэкономить значительное количество электроэнергии.

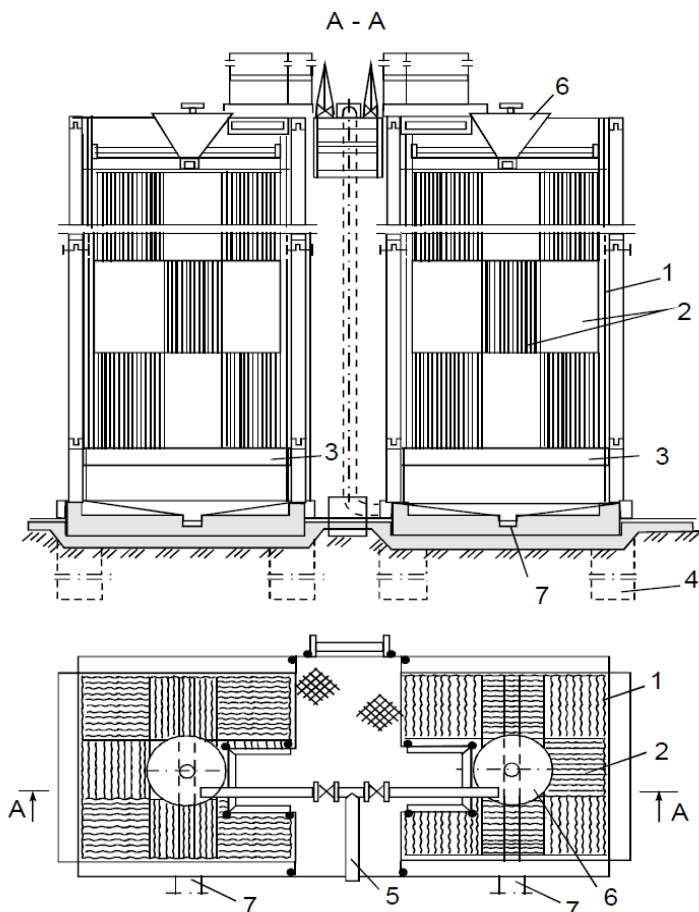


Рисунок 3.6 – Биофильтр с пластмассовой загрузкой прямоугольной формы в плане пропускной способностью $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ [5]:

1 – корпус из облегченных листов по металлическому каркасу; 2 – пластмассовая загрузка; 3 – решетка; 4 – бетонные столбовые опоры; 5 – подводящий трубопровод; 6 – реактивный ороситель; 7 – отводящие лотки

Преимуществами биофильтров с плоскостной загрузкой являются:

- большая пропускная способность;
- компактность;
- не подвержены заилению;
- надежность работы при перегрузках;
- возможность использования в тяжелых климатических условиях и в сейсмических районах.

3.2.6 Ротационные биофильтры

Ротационные (барabanные и дисковые) биофильтры применяются для биологической очистки бытовых и производственных сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению и нитрификации при расходах до 500–1000 м³/сут. Представляют собой комбинированные сооружения, имеющие признаки биофильтров и аэротенков. *Ротационные биофильтры состоят:*

- из резервуара для сточной воды;
- загрузки, обладающей развитой поверхностью и закрепленной на вращающемся горизонтальном валу над резервуаром;
- лотков (трубопроводов) для подачи и сбора воды;
- двигателя для вращения вала. Подающий и отводящий трубопроводы располагаются на противоположных сторонах емкости ротационного биофильтра для обеспечения направления потока через носитель биомассы в биофильтре и для предотвращения короткозамкнутого контура циркуляции сточных вод.

Объем резервуара принимается исходя из времени пребывания сточных вод не менее 1 ч при максимальном расходе или в зависимости от гидравлической нагрузки – 4 л на 1 м² поверхности носителя.

Поверхностная нагрузка по БПК₅ на биофильтры не должна превышать 40 г/(м²·сут) [24].

Дисковые биофильтры применяются при производительности очистных сооружений до 1000 м³/сут, состоят из дисков диаметром 1,0–3,0 м, собираемых в пакеты по 30–180 штук и закрепляемых на горизонтальном валу длиной не более 10 м (рисунок 3.7).

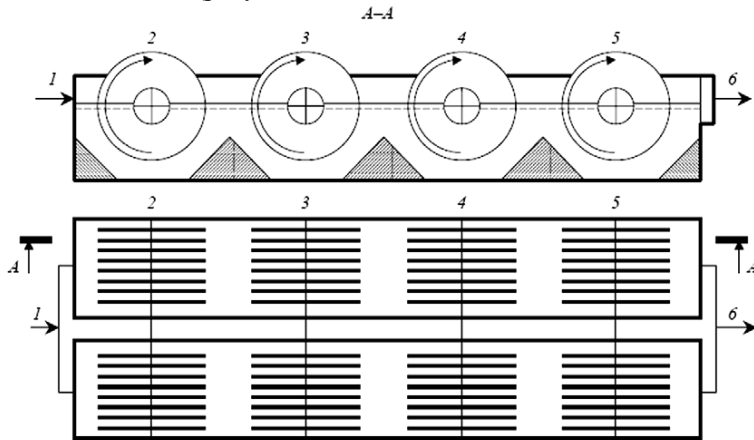


Рисунок 3.7 – Схема дискового погружного биофильтра [7]:

1 – подача сточных вод; 2–5 – I, II, III и IV ступени биофильтра; 6 – подача сточных вод

Диски изготавливаются толщиной 1–10 мм из легких полимерных материалов. Прозор между ними принимается не менее 15 мм.

На поверхности дисков образуется биопленка, сходная по видовому составу с биопленкой биофильтров. На погруженной части диска происходит сорбция загрязнений из сточных вод, затем при повороте диска эти загрязнения окисляются на воздухе. Часть биопленки отрывается от поверхности и находится в очищаемых сточных водах во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила. Поэтому процессы окисления осуществляются как биопленкой, так и активным илом.

Частота вращения вала составляет 1–50 об/мин. Мощность привода принимается с учетом требуемой удельной мощности в зависимости от диаметра дисков: для биофильтров с дисками диаметром 2,0 м – 50 Вт/м; диаметром 3,0 м – 75 Вт/м.

Барабанные биофильтры состоят из барабана длиной 2,0–3,0 м, диаметром 2–2,5 м, закрепленного на вращающемся горизонтальном валу и заполненного загрузочным материалом. Жесткий корпус барабана обтягивается сеткой. Частота вращения барабана составляет 0,5–5 об/мин. Обрабатываемая сточная вода из резервуара сквозь сетку поступает внутрь барабана и контактирует с загрузочным материалом, на поверхности которого закрепляется биопленка.

Загрузка барабанов может состоять из листовых пластмассовых материалов, тканей или пленок, которые крепятся к каркасу барабанного биофильтра. На рисунке 3.8 приведена схема односекционного погружного барабанного биофильтра, в поперечном сечении которого условно показаны различные виды засыпного, блочного и пленочного загрузочного материала. Число секций барабанов на одном горизонтальном валу может достигать 8–10 (рисунок 3.9).

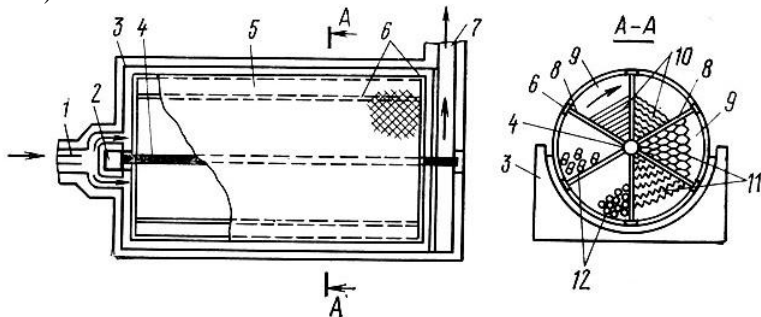


Рисунок 3.8 – Односекционный погружной барабанный биофильтр [7]:
 1 – подводящий лоток; 2 – электродвигатель с редуктором; 3 – резервуар; 4 – вал;
 5 – барабан из металлической сетки; 6 – каркас жесткости; 7 – отводящий лоток;
 8 – перегородки; 9 – секторы барабана; 10 – загрузочные плоские и гофрированные
 листы; 11 – загрузочные блоки; 12 – засыпной материал (пластмассовые шарики,
 обрезки труб)

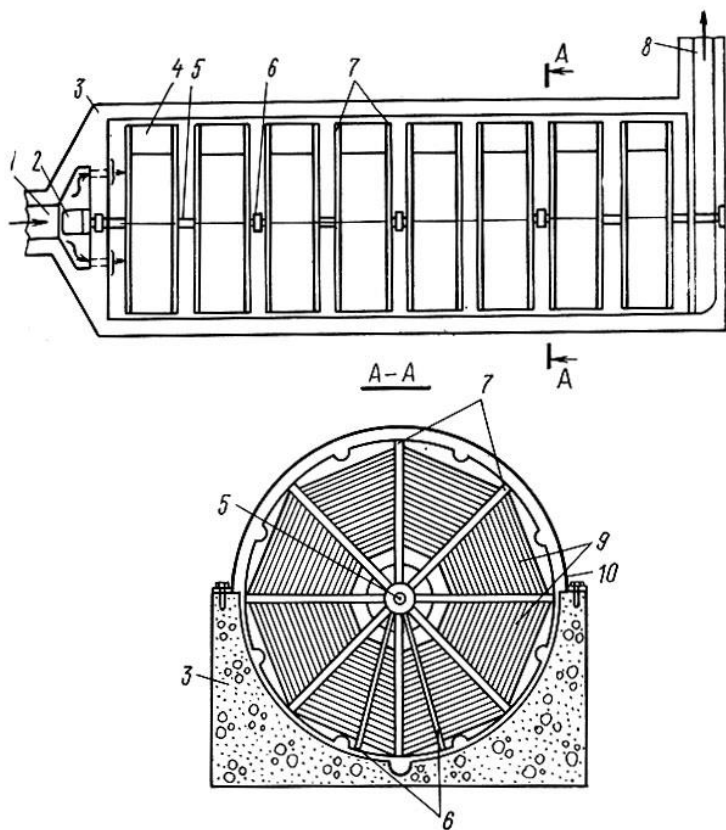


Рисунок 3.9 – Восьмисекционный погружной барабанный биофильтр [7]:
 1 – подводящий лоток; 2 – электродвигатель с редуктором; 3 – бетонный резервуар; 4 – секция биофильтра; 5 – вал; 6 – промежуточная опора со стойками; 7 – брусья секции со стержнями; 8 – отводящий лоток; 9 – гибкая пластмассовая пленка; 10 – кожух биофильтра

Дисковые и барабанные биофильтры просты в эксплуатации, не требуют больших перепадов высот при движении воды (что свойственно всем другим конструкциям биофильтров), а при наличии перепада, равного 0,5–0,7 м, пакет дисков может вращаться за счет энергии падающей струи воды. Также они выдерживают залповые поступления сточных вод, что обуславливает их целесообразность применения при большом коэффициенте неравномерности поступления сточных вод.

Рекомендации по применению дисковых и барабанных биофильтров для первой ступени очистки в зависимости от поверхностной нагрузки и для ступеней, предназначенных для нитрификации, приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Область применения дисковых и барабанных биофильтров

Поверхностная нагрузка, г/м ² ·сут	Дисковые с прозорами между дисками, мм, более	Барабанные с удельной площадью поверхности, м ² /м ³ , менее
<i>Биофильтры первой ступени очистки</i>		
Более 20	18	100
До 20	15	150
<i>Биофильтры на ступенях, предназначенных для нитрификации</i>		
–	10	200

Общая площадь поверхности барабанных и дисковых биофильтров:

$$F_R = F_{RC} + F_{RN}, \quad (3.5)$$

где F_{RC} – площадь поверхности, необходимая для очистки сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению, м²;

F_{RN} – площадь поверхности, необходимая для нитрификации, м².

Площадь поверхности биофильтров, необходимая для очистки сточных вод с целью удаления веществ, подверженных биохимическому разложению:

$$F_{RC} = \frac{1000B_{\text{сут}}}{q_F}, \quad (3.6)$$

где $B_{\text{сут}}$ – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на биологическую ступень очистных сооружений, кгБПК₅/сут;

q_F – расчетная поверхностная нагрузка, г/(м²·сут).

Площадь поверхности фильтров, необходимая для нитрификации:

$$F_{RN} = \frac{1000B_{\text{сут}}^N}{q_F^N}, \quad (3.7)$$

где $B_{\text{сут}}^N$ – суточное поступление азотных соединений со сточной водой на биологическую ступень очистных сооружений, оцениваемых по концентрации общего азота кг/сут;

q_F^N – расчетная поверхностная нагрузка по общему азоту, г/(м²·сут).

Суточное поступление азотных соединений со сточной водой на биологическую ступень очистных сооружений, оцениваемых по концентрации общего азота:

$$B_{\text{сут}}^N = \frac{Q_{\text{расч}} C_{\text{ен}}^N}{1000}, \quad (3.8)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

C_{en}^N – концентрация соединений общего азота в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³.

Расчетная поверхностная нагрузка для дисковых и барабанных биофильтров по БПК₅ и общему азоту принимается по таблицам 3.7, 3.8 в зависимости от производительности очистных сооружений и целей обработки.

При очистке сточных вод на барабанных и дисковых биофильтрах количество избыточной биопленки составляет 0,75 кг на 1 кг удаленного БПК₅ [24].

Таблица 3.7 – Допустимая объемная нагрузка по БПК₅ и общему азоту для ротационных биофильтров

Производительность очистных сооружений	Тип фильтра	Расчетная поверхностная нагрузка, г/м ² ·сут,	
		по БПК ₅	по общему азоту
Более 1000 ЭН	Дисковый	8,0–10,0	1,6–2,0
	Барабанный	5,6–7,0	1,1–1,4
Менее 1000 ЭН	Дисковый	до 4,0	до 1,2
	Барабанный	до 3,0	до 0,85

Таблица 3.8 – Параметры дисковых и барабанных биологических фильтров

Схема очистки	Расчетная поверхностная нагрузка, г/(м ² ·сут), не более			
	по БПК ₅ при обработке		по общему азоту, при обработке	
	без нитрификации	с нитрификацией	без нитрификации	с нитрификацией
<i>Дисковые биофильтры</i>				
Двухступенчатая	8	–	–	–
Трехступенчатая	10	8	–	1,6
Четырехступенчатая	10	10	–	2
<i>Барабанные биофильтры</i>				
Двухступенчатая	5,6	–	–	–
Трехступенчатая	7	5,6	–	1,1
Четырехступенчатая	7	7	–	1,4

При размещении ротационных биофильтров вне зданий предусматриваются перекрытия и ограждающие конструкции для предотвращения их обмерзания.

Для удаления газообразных продуктов, выделяющихся при очистке сточных, предусматривается вентиляция объема под перекрытием.

3.2.7 Основы распределения сточных вод по биофильтрам

Равномерное орошение водой поверхности биофильтра является важным условием его надежной работы.

Орошение производится **распределительными устройствами**, которые подразделяются на две основные группы:

– *подвижные*: качающиеся желоба и вращающиеся реактивные распределители (оросители);

– *неподвижные*: дырчатые желоба, трубы и разбрызгиватели (спринклеры).

В практике проектирования наибольшее распространение получили спринклерные системы и реактивные оросители [воронов].

Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров (рисунок 3.10).

Спринклеры (спринклерные головки) – специальные насадки, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспределительных труб, уложенных на поверхности или в теле биофильтра (рисунок 3.11).

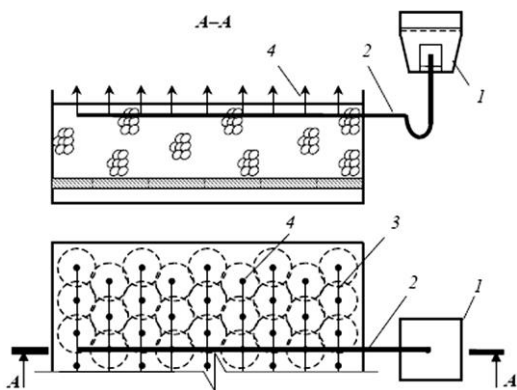


Рисунок 3.10 – Схема спринклерной водораспределительной сети:

1 – дозирующий бак; 2 – магистральная труба; 3 – разводящие трубы; 4 – спринклеры

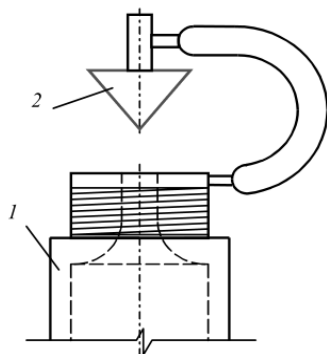


Рисунок 3.11 – Спринклер:

1 – корпус; 2 – отражательный зонтик

Период орошения биофильтра зависит от вместимости бака и размеров выпускной трубы, продолжительность наполнения бака – от притока сточных вод, который колеблется в течение суток. Поэтому орошение биофильтра производится периодически, через неравные по продолжительности интервалы. Во избежание сильного охлаждения необогреваемых биофильтров интервал между орошением не должен превышать 5–8 мин.

Во избежание коррозии спринклеры изготавливаются из пластмассы, бронзы или латуни.

Спринклерные головки располагают таким образом, чтобы площадь, орошаемая одним разбрызгивателем, частично перекрывала площади соседних разбрызгивателей. Поэтому расстояние между разбрызгивателями равно $1,73R$, а между их рядами – $1,5R$ (рисунок 3.12). Водораспределительная сеть укладывается с уклоном, чтобы ее можно было опорожнить.

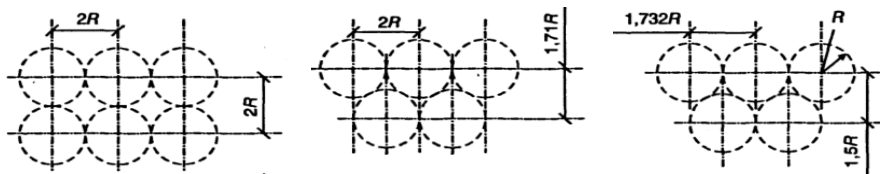


Рисунок 3.12 – Схемы расположения спринклеров [7]:
 R – радиус орошения

Спринклерные головки устанавливают на 0,15–0,2 м выше поверхности, диаметр отверстий головки 18–32 мм. Скорость протока в главной магистральной трубе принимается до 1 м/с, в разводящих трубах – до 0,75 м/с.

При проектировании разбрызгивателей принимается [24]:

- начальный свободный напор – 1,5 м;
- конечный – не менее 0,5 м;
- диаметр отверстий – 13–40 мм;
- высота расположения головки над поверхностью загрузочного материала – 0,15–0,20 м;
- продолжительность орошения на капельных биофильтрах при максимальном притоке воды – 5–6 мин.

Реактивный вращающийся водораспределитель (ороситель) состоит из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке (рисунок 3.13).

Вода из распределительной камеры под напором поступает в стояк, установленный на шариковых подшипниках. Стояк может вращаться вокруг своей вертикальной оси. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Под действием реактивной силы, возникающей при истечении воды из отверстий, распределитель вращается.

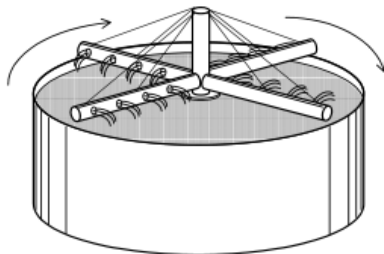


Рисунок 3.13 – Реактивный вращающийся ороситель

Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, количества отверстий, напора воды, частоты вращения стояка.

При проектировании реактивных оросителей принимается [24]:

- напор у оросителя – по расчету, но не менее 0,5 м;

- количество и диаметр распределительных труб – по расчету, при условии движения сточных вод в начале труб со скоростью 0,5–1,0 м/с;
- количество и диаметр отверстий в распределительных трубах – по расчету, при условии истечения сточных вод из отверстий со скоростью не менее 0,5 м/с, диаметры отверстий – не менее 10 мм;
- расположение распределительных труб – выше поверхности загрузочного материала на 0,2 м.

Водоструйная система орошения применяется в основном для биофильтров с плоскостной загрузкой, состоит из следующих элементов:

- магистрального трубопровода или лотка;
- разводящей сети или лотков;
- насадочных элементов (цилиндрического, конического или коноидального типа) с отверстиями диаметром 15–32 мм;
- водоотбойных круглых в плане розеток, имеющих плоскую или вогнутую сферическую форму с гладкими или фигурными кромками.

На рисунке 3.14 приведены схемы оросителей струйного типа в зависимости от расхода сточной воды через насадку и высоты расположения насадочного элемента.

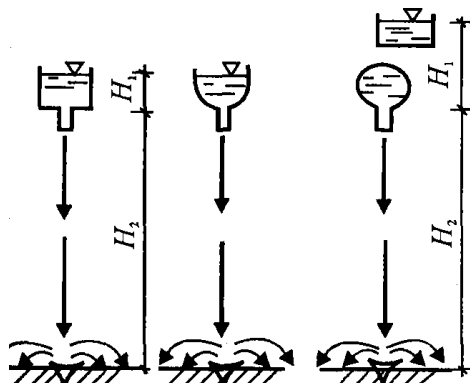


Рисунок 3.14 – Струйные оросители

Водоотбойные розетки располагаются над поверхностью загрузочного материала (подвешиваются к разводящим трубопроводам или лоткам) или закрепляются на поверхности загрузки.

Разводящая сеть располагается над поверхностью загрузочного материала на расстоянии 0,5–1,0 м.

Сточная вода из магистрального водовода поступает в разводящую сеть и через насадочные элементы изливается в виде струй на водоотбойные розетки.

Ударяясь о розетку, струя воды разбивается на мелкие брызги и струйки, равномерно орошая поверхность загрузочного материала биофильтра.

Использование водоструйной системы орошения позволяет исключить механическую систему привода мотор-редуктор.

Расчет распределительной и отводящей систем биофильтров необходимо производить по максимальному расходу воды с учетом рециркуляционного расхода [24].

3.2.8 Системы вентиляции биофильтров

Для нормального функционирования биофильтров необходимо обеспечить достаточное поступление кислорода воздуха.

Вентиляция необходима для снабжения аэробных микроорганизмов биопленки кислородом и удаления из порогового пространства загрязненных обростаний.

Необходимость в использовании естественной или искусственной вентиляции определяется типом биофильтра и климатическими условиями размещения сооружений.

Искусственная вентиляция в основном используется в высоконагружаемых биофильтрах (аэрофильтрах). Для других типов биофильтров искусственная аэрация применяется только для обеспечения необходимого воздухообмена внутри помещения, в котором размещается биофильтр, или содержания требуемой температуры.

Капельные биофильтры устраиваются с естественной аэрацией, высоконагружаемые – как с естественной, так и с искусственной аэрацией (аэрофильтры).

Естественная аэрация биофильтров предусматривается через окна, располагаемые равномерно по периметру в пределах междудонного пространства и оборудуемые устройствами, позволяющими закрывать их наглухо. Площадь окон должна составлять от 1 до 5 % площади биофильтра.

В аэрофильтрах подача воздуха в междудонное пространство осуществляется вентиляторами с давлением у ввода 980 Па. На отводных трубопроводах аэрофильтров устраиваются гидравлические затворы высотой 200 мм.

Подбор вентилятора осуществляется на основании расчёта биофильтра при определении требуемого количества воздуха

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{уд}} Q, \quad (3.9)$$

где $V_{\text{уд}}$ – удельный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

q – среднесуточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$.

При применении искусственной аэрации большое значение имеет надёжная работа вентиляторов. О достаточности вентиляции судят по одинаковой концентрации кислорода при отборе проб на разной высоте биофильтра и по отсутствию снижения рН.

Отсутствие понижения активной реакции среды и одинаковое содержание растворенного кислорода в очищенной воде, взятой с различной высоты биофильтров, указывают на достаточную аэрацию.

Перерывы в орошении аэрофильтров при сохранении продувки воздухом могут сопровождаться повышением температуры в теле фильтра до 50–60 °С и появлением неприятного запаха, связанного с разложением отмирающей биопленки.

Если температура поступающей сточной воды на биофильтр и, следовательно, в теле биофильтра опускается ниже 10 °С, необходимо тщательно выполнять нормы по эксплуатации, так как при несоблюдении их возможно нарушение процесса нитрификации, восстановить который при низких температурах не удастся даже при значительном и длительном уменьшении нагрузки [24].

Биофильтр в основном обогревается сточной водой, поэтому при понижении ее температуры ниже 6 °С целесообразно присоединять к водоотводящей сети трубопроводы условно-чистых тёплых конденсационных вод.

В связи с большой пористостью плоскостного загрузочного материала, возможно переохлаждение очищаемых сточных вод в зимний период в биофильтрах, установленных на открытом воздухе. Для поддержания аэробного режима работы биофильтра, достаточно поступления воздуха в количестве 20 м³/ч на 1 м² площади поверхности биофильтра, что достигается при установке в вентиляционных окнах биофильтра регулируемых жалюзийных решеток, экранов из сетчатого или тканого материала и др.

Для предупреждения переохлаждения биофильтров в зимний период необходимо:

- установить противоветровую защиту;
- соорудить над биофильтром купольное перекрытие;
- снизить коэффициент неравномерности притока сточных вод (при $k_{gen\ max}=1,5$ эффективность работы биофильтра снижается).

3.2.9 Методы интенсификации работы биофильтров

Интенсификации работы биологических фильтров осуществляется с целью повышения их пропускной способности или увеличения эффективности очистки сточных вод.

Основными методами интенсификации биофильтров являются [7]:

- 1) изменение технологической схемы работы всего комплекса сооружений;
- 2) замена объёмной загрузки на плоскостную;
- 3) изменение системы водораспределения сточных вод по поверхности загрузки биофильтра;
- 4) использование многоступенчатой схемы очистки;
- 5) повышение ферментативной активности микроорганизмов за счёт воздействия ультразвуком.

На рисунке 3.15 представлены принципиальные технологические схемы реконструкции действующих станций биофильтрации с целью интенсификации их работы и улучшения качества очистки сточных вод. На рисунке 3.15, *а* приведена технологическая схема до реконструкции, схемы *б* и *в* соответственно с частичной и полной перегрузкой объёмной загрузки на

плоскостную с возможным наращиванием ограждающих стен и увеличением слоя загрузочного материала. В этом случае сохраняется одноступенчатая биологическая очистка. Схемы *г* и *д* предполагают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и перегрузку объемной загрузки на плоскостную только первой или обеих ступеней биофильтров.

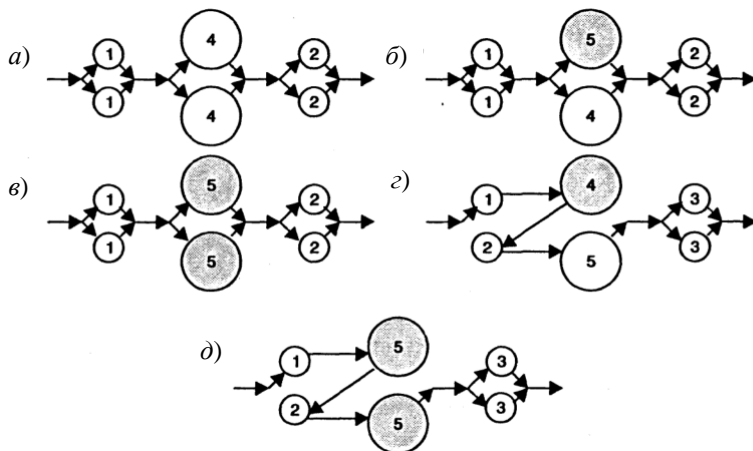


Рисунок 3.15 – Принципиальные схемы реконструкции станций биофильтрации [7]:
 1 – первичные отстойники; 2 – вторичные отстойники; 3 – третичные отстойники;
 4 – биофильтр с объемной загрузкой; 5 – биофильтр с плоскостной загрузкой

Реконструкция капельных биофильтров.

Технологическая схема очистки сточных вод на капельных биофильтрах включает следующие сооружения: решетки; песколовки; двухъярусные отстойники; капельные биофильтры, вторичные вертикальные отстойники, контактные резервуары.

В отечественной практике наибольшее распространение получили капельные биофильтры прямоугольные в плане, размещенные в здании. Высота слоя загрузочного материала таких конструкций биофильтров составляет от 2,3 м.

Для проверки пропускной способности биофильтра необходимо выполнить поверочные расчёты по определению реальной пропускной способности сооружения и определить возможность её увеличения в соответствии с техническим заданием на реконструкцию [7].

При реконструкции капельного биофильтра с заменой загрузочного материала возможно два варианта:

1) *реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый* – необходимо увеличить высоту слоя загрузочного материала минимум до 2 м, установить низконапорные вентиляторы, подвести воздухопроводы к

окнам в междудонном пространстве, устроить в каналах на выходе из биофильтров гидравлические затворы для предотвращения утечки воздуха в атмосферу. Пропускная способность биофильтра при этом может быть увеличена в 1,5–2,5 раза;

2) *реконструкция капельного биофильтра в биофильтр с плоскостной загрузкой* – высота плоскостной загрузки должна быть не менее 3–4 м. Очистка сточных вод производится по двухступенчатой технологической схеме. При этом на первой ступени используется биофильтр с плоскостной загрузкой, а на второй – остается капельный биофильтр. Вторая ступень биологической очистки должна обеспечить очистку сточных вод до требуемых показателей. Дополнительно для подачи сточной воды на вторую ступень очистки необходимо устройство насосной станции [7].

Метод реконструкции сооружений без увеличения высоты слоя загрузки биофильтра с плоскостной загрузкой не обеспечивает улучшения качественных показателей очищенной воды.

При реконструкции капельных биофильтров в биофильтры с плоскостной загрузкой пропускная способность очистных сооружений увеличится в 4–6 раз [7].

После реконструкции капельных биофильтров с *изменением технологической схемы работы капельных биофильтров* движение сточной воды по очистным сооружениям осуществляется следующим образом: после песколовков сточная вода поступает непосредственно на биофильтры с плоскостной загрузкой без первичного отстаивания. Для биофильтра с плоскостной загрузкой используется часть капельного биофильтра с увеличением слоя загрузочного 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 после дезинфекции очищенная вода сбрасывается в водоём [7].

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров.

Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применять несколько вариантов реконструкции. Методы интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров путём реконструкции мало чем отличаются от реконструкции капельных биофильтров. В настоящее время наиболее распространены два наиболее часто применяющихся решения.

Для *реконструкции высоконагружаемых биофильтров путём замены загрузочного материала на плоскостной* необходимо:

- смонтировать новую водораспределительную систему;
- нарастить высоту стен биофильтра;
- заменить существующие лотки на каналы большей пропускной способности;
- переоборудовать систему подачи сточной на очистку;

– заменить водоотводные лотки к вторичным отстойникам.

Высота ограждающих конструкций высоконагружаемых биофильтров увеличивается до 3–4 м, в качестве плоскостного загрузочного материала можно использовать рулонный загрузочный материала из гофрированного вторичного полиэтилена. Для орошения поверхности загрузочного материала целесообразно применение оросителей струйного типа [7].

При изменении технологической схемы работы высоконагружаемых биофильтров с заменой загрузочного материала возможны три варианта реконструкции.

1 Реконструкция обоих аэрофильтров путем замены гравийной загрузки на плоскостную (пластмассовую) с работой их по одноступенчатой технологической схеме.

2 Реконструкция всех биофильтров с заменой загрузочного материала и работой их по двухступенчатой технологической схеме.

3 Реконструкция одного из биофильтров с заменой загрузочного материала. В этом случае работа сооружений также будет осуществляться по двухступенчатой схеме: на первой ступени работает биофильтр с плоскостной загрузкой, на второй – аэрофильтр, выполняющий дополнительную функцию биореактора глубокой очистки.

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

3.3 Биологическая очистка сточных вод в сооружениях с активным илом

3.3.1 Классификация сооружений биологической очистки с активным илом

Сооружения биологической очистки с активным илом классифицируются:

По назначению:

– для очистки от веществ, подверженных биохимическому разложению – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению;

– сооружения с нитрификацией – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также для окисления соединений азота до нитратов;

– сооружения с денитрификацией – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также соединений азота;

– *сооружения с денитрификаций и биологическим удалением соединений фосфора* – предназначены для удаления преимущественно органических загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, а также соединений азота и фосфора;

– *для очистки от специфических загрязняющих веществ* – предназначены для удаления специфических загрязняющих веществ преимущественно промышленного происхождения, подверженных биохимической деструкции, окислению или восстановлению;

– *селекторы* – предназначены для ограничения развития нитчатых форм микроорганизмов в активном иле основных сооружений биологической очистки и размещаемые перед ними.

Режиму работы:

– *проточные биологические реакторы* – очистка сточных вод производится при перемешивании очищаемых сточных вод с активным илом и перемещении полученной иловой смеси по сооружению с последующим разделением активного ила и очищенных сточных вод в отдельных сооружениях;

– *биологические реакторы последовательного действия* – очистка сточных вод производится в одной и той же технологической емкости с разделением процессов подачи сточной воды, очистки и разделения активного ила и очищенных сточных вод по времени.

Виду кислородного режима:

– *аэробные* – сооружения, в которых микроорганизмы активного ила имеют доступ к кислороду;

– *аноксидные* – сооружения, в которых растворенный кислород отсутствует, а микроорганизмы активного ила имеют доступ к связанным формам кислорода;

– *анаэробные* – сооружения, в которых доступ к кислороду у микроорганизмов активного ила отсутствует.

Количество ступеней очистки сточных вод:

– *одноступенчатые* – представляют одиночную технологическую емкость с активным илом;

– *многоступенчатые* – представляют каскад технологических емкостей с активным илом, с однородными или разнородными процессами биологической очистки в них.

Принципу разделения активного ила и очищенных сточных вод:

– *с вторичными отстойниками* – разделение активного ила и очищенных сточных вод производится отстаиванием во вторичных отстойниках;

– *флотационными илоотделителями* – разделение активного ила и очищенных сточных вод производится флотацией;

– *мембранным разделением иловой смеси* – разделение активного ила и сточных вод производится путем фильтрования через мембраны.

Принципу устройства сооружений:

- технологические емкости, возводимые по *строительным проектам* из конструкций и строительных материалов (как правило из железобетона), монтируемых на объекте;
- сооружения, возводимые путем *размещения установок заводского изготовления*.

Проточные биологические реакторы классифицируются:

По гидродинамическому режиму:

– *вытеснители* – сооружения, в которых сточная вода и циркулирующий возвратный активный ил подаются, направлено с одной из торцевых сторон технологической емкости и отводятся также направленно с другой торцевой стороны сооружения;

– *смесители* – сооружения, в которых сточная вода и циркулирующий возвратный активный ил подаются равномерно по лоткам вдоль длинной стороны прямоугольной технологической емкости, а отводятся иловая смесь равномерно с противоположной стороны емкости;

– *с рассредоточенной подачей сточной воды* – сооружения, в которых сточная вода подается в нескольких сточках, распределяясь по длине технологической емкости, а отводится направлено от ее торцевой части; циркулирующий возвратный активный ил при этом подается направлено через другую торцевую часть емкости;;

– *циркуляционные окислительные каналы* – сооружения, в которых сточная вода и циркулирующий возвратный активный ил подаются в одной точке технологической емкости и иловая смесь также отводится направленно в другой точке сооружения, причем иловая смесь циркулирует в сооружении за счет работы механических аэраторов или погружных мешалок с расходом, многократно превышающим расход поступающей сточной воды.

Конструктивному исполнению:

– *раздельные сооружения* – технологические емкости с активным илом и сооружения для первичного и вторичного отстаивания выполнены раздельно;

– *сблокированные* – технологические емкости с активным илом сблочены с первичными и (или) вторичными отстойниками, другими сооружениями.

Технологическая схема очистки, состав и тип сооружений выбирается с учетом:

- цели очистки (полная или частичная очистка от веществ, подверженных биохимическому разложению, нитрификация, денитрификация, удаление соединений фосфора, очистка от специфических примесей);
- требований к степени очистки;
- расхода очищаемых сточных вод и режима их поступления.

3.3.2 Основные характеристики активного ила

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 м³ иловой смеси.

Доза ила в технологических сооружениях определяется технологически и технико-экономическим расчетами с учетом способа разделения иловой смеси. При разделении иловой смеси отстаиванием доза ила принимается по таблице 3.9 в зависимости от цели очистки.

Таблица 3.9 – Характеристики активного ила [24]

Цель очистки	Доза ила, г/дм ³	Нагрузка на активный ил, кг/(кг·сут)	Возраст ила, сут
Неполная биологическая очистка	1,5–2,0	До 1,0	До 1,0
Очистка без нитрификации	2,0–3,0	0,25–0,5	2–4
Очистка с нитрификацией	3,0–5,0	0,1–0,15	7–12
Очистка с нитрификацией и денитрификацией	3,0–5,0	0,07–0,09	12–15
Очистка с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила	3,0–5,0	0,04–0,07	15–30

Увеличение дозы ила приводит:

- к излишнему накоплению его в иловой зоне вторичных отстойников;
- загниванию ила;
- повышенному выносу;
- обескислороживанию очищенной воды.

Что влияет на качество очистки.

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 БПК₅, мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в сутки, определяется по формуле

$$q_i = \frac{24L_{en}}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (3.10)$$

где L_{en} – концентрация БПК₅ поступающей в аэротенки сточной воды (с учетом снижения при первичном отстаивании), мг/дм³;

a_i – доза ила, выражаемая в г/л, если БПК₅ выражена в мг/л или в г/м³;

s – зольность ила, доли единицы;

t_{at} – длительность пребывания сточных вод в аэрационном сооружении.

В зависимости от нагрузки аэротенки делятся :

- низконагружаемые (продленной аэрации) – q_i до 150 мг/г·ч;
- средней нагрузки (обычные) – $q_i = 200...250$ мг/г·ч;
- высоконагружаемые – $q_i = 400...900$ мг/г·ч.

При нагрузке на активный ил:

- 200–250 мг/г·ч – аэротенки работают устойчиво, обеспечивая высокое качество очистки;
- более 400 мг/г·ч – работа сооружений становится нестабильной (увеличивается иловый индекс, ухудшается качество очистки);
- 50–150 мг/г·ч – происходит полная нитрификация азота аммонийного до нитратов.

Удельная скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды (скорость очистки) – отношение снятой БПК₅ к массе ила и длительности аэрации, в миллиграммах или граммах БПК₅ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч:

$$p_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (3.11)$$

где L_{ex} – концентрация БПК₅ в сточных водах после аэротенка, мг/л или г/м³.

Разница между поступающей в аэротенк концентрацией БПК₅ и выходящей из него называется снятой БПК₅.

Удельная скорость изъятия загрязнений устанавливается экспериментальным путем.

Окислительная мощность – количество загрязнений, снимаемых в единицу времени массой активного ила, находящейся в единице объема иловой смеси,

$$OM = 24a_i(1-s)p_i. \quad (3.12)$$

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.

Разделение активного ила от очищенной сточной воды осуществляется в основном гравитационным путем (отстаиванием). При этом активный ил осаждается на дно отстойного сооружения и несколько уплотняется, после чего может быть возвращен в аэрационное сооружение.

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.

Значение илового индекса J , см³/г, необходимо определять экспериментально. При очистке городских сточных вод от веществ, подверженных био-

химическому разложению с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила значение илового индекса определяется по таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Значение илового индекса J_i , для городских сточных вод
В сантиметрах кубических на грамм

Цель очистки	Влияние производственных сточных вод, в составе городских, на биологическую очистку	
	благоприятное или удовлетворительное	неблагоприятное
Нитрификация; нитрификация и денитрификация	100 –150	120 –180
Нитрификация, денитрификация и стабилизация ила	75 –120	100 –150

Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60–90 до 120–150 см³/г. Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по загрязнениям (помимо прочих факторов) приводят к резкому увеличению илового индекса ("вспухание ила") и повышенному выносу его с очищенной сточной водой.

Вспухание ила, вызванное массовым развитием в активном иле нитчатых форм микроорганизмов, может быть обусловлено низкой концентрацией кислорода в иловой смеси (менее 1,0 мг/дм³), низкой нагрузкой по БПК₅ в сооружениях биологической очистки, низким содержанием биогенных элементов в сточной воде (при соотношениях концентрации легкоокисляемой фракции примесей к общему содержанию органических примесей по ХПК менее 0,6), высокими концентрациями соединений серы в сточной воде, значением рН иловой смеси менее 6,5.

Для предотвращения развития нитчатых форм микроорганизмов в активном иле может быть предусмотрена обработка активного ила окислителями (хлор, озон, перекисью водорода). Обработку окислителями следует предусматривать для уничтожения нитчатых форм микроорганизмов в условиях относительно меньшей степени биоцидного воздействия на флокулообразующие микроорганизмы активного ила. При хлорировании дозу хлора следует принимать в пределах от 2 до 6 г на 1 кг активного ила в сутки.

Возраст ила – средняя продолжительность пребывания ила в сооружениях биологической очистки (в системе аэротенк-отстойник).

Поскольку часть потребляемых илом органических веществ идет на построение новых бактериальных клеток, активный ил развивается и его масса увеличивается. Это увеличение называется *приростом ила* (избыточным активным илом).

В аэротенке поддерживается определенная для данных условий концентрация ила, поэтому прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. В противном случае она будет выноситься с потоком очищаемой воды.

Масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэротенки, называется *циркуляционным активным илом*.

Постоянный прирост и удаление избыточного активного ила из системы биологической очистки постепенно обновляют иловую массу в аэрационном сооружении. Чем больше прирост ила, тем больше количество избыточного активного ила, и следовательно, тем быстрее обновляется ил и тем меньше возврат ила.

Высоконагружаемые сооружения работают на неполную очистку с возрастом ила 2–3 сут. С низкими нагрузками связаны процессы нитрификации и большой возраст ила 6–12 сут [13].

Минимальный возраст активного ила в системах биологической очистки принимается в соответствии с [24] в зависимости от цели обработки, нагрузки по органическим загрязнениям и расчетной температуры сточных вод.

Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается на основе лабораторных анализов по следующим показателям:

- степени очистки по БПК₅ (ХПК);
- приросту ила;
- остаточным концентрациям в очищенной воде после вторичных отстойников БПК₅, азота аммонийного, нитритов, нитратов, соединений фосфора, взвешенных веществ (после отделения ила), концентрации растворенного кислорода, рН.

Работа аэрационных сооружений также оценивается энергетическими показателями: расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений; расход энергии или воздуха на очистку 1 м³ сточной воды.

Для вывода аэротенка в расчетный режим работы требуются 2–4 недели и более, для ускорения пуска в работу аэротенков практикуется завоз некоторого количества активного ила из расположенных поблизости действующих очистных сооружений [7].

3.3.3 Принципы и технологические схемы очистки в сооружениях для удаления веществ, подверженных биохимическому разложению

Удаление загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, производится при выдерживании сточных вод и активного ила в аэробных условиях в проточных емкостных сооружениях.

Аэротенки – сооружения биологической очистки с активным илом, предназначенные для очистки сточных вод с удалением загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению, при использовании биоценоза свободноплавающих форм микроорганизмов с подачей в сооружения воздуха для аэрации и перемешивания иловой смеси.

Эффективность работы сооружений биологической очистки с активным илом оценивается по концентрации БПК₅ в очищенной воде.

При пуске в работу вновь построенных аэротенков необходимая рабочая доза активного ила в них создается путем наращивания биомассы за счет аэрации сточной воды, в которой всегда находятся различные виды микроорганизмов. При этом расход сточной воды через аэротенк постепенно увеличивается по мере наращивания дозы ила. Для вывода аэротенка в расчетный режим работы может потребоваться от двух до четырех недель, а иногда и более, в зависимости от температурных (и ряда других) условий. Для ускорения запуска небольших по производительности аэротенков практикуется завоз некоторого количества активного ила из расположенных поблизости действующих очистных сооружений.

В расчетном режиме работы аэротенков их функционирование обеспечивается тем, что после отделения от очищенной воды в сооружениях илоотделения, активный ил возвращается в аэротенки. Это означает, что активный ил в проточных условиях постоянно циркулирует между аэротенками и сооружениями илоотделения (вторичными отстойниками).

В процессе биологической очистки сточных вод в аэротенках растворенные органические вещества, а также неосаждающиеся тонкодиспергированные и коллоидные вещества переходят в активный ил, обуславливая прирост исходной биомассы. Чтобы не допустить повышения дозы ила в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Остальной ил в виде избыточного удаляется из системы аэротенк-илоотделитель и поступает на обработку и ликвидацию.

Схема реализации биологического процесса очистки сточной воды в проточном режиме в аэротенках с возвратом ила из вторичных отстойников и выведением избыточного ила на обработку (рисунок 3.16) включает аэрационные и отстойные сооружения, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточных вод по аэротенкам, сбора и подачи иловой смеси на илоотделение, отведения очищенной воды, обеспечения возврата в аэротенки циркуляционного активного ила и удаления избыточного ила, подачи и распределения воздуха в аэротенках.

По данной схеме активный ил подается сосредоточенно на вход в аэротенк, туда же подается и подлежащая биологической очистке сточная вода после первичного отстаивания. В результате смешения воды и циркуляционного ила образуется *иловая смесь*. В процессе ее движения к выходу из аэротенка обеспечивается необходимая для протекания биохимических реакций длительность контакта активного ила с загрязнениями. Наиболее часто аэротенк устраивается в виде прямоугольного резервуара, разделенного продольными перегородками на отдельные коридоры шириной 4,5–9,0 м, по которым иловая смесь протекает от входа в аэротенк к выходу из него при постоянном перемешивании и обеспечении кислородом воздуха.

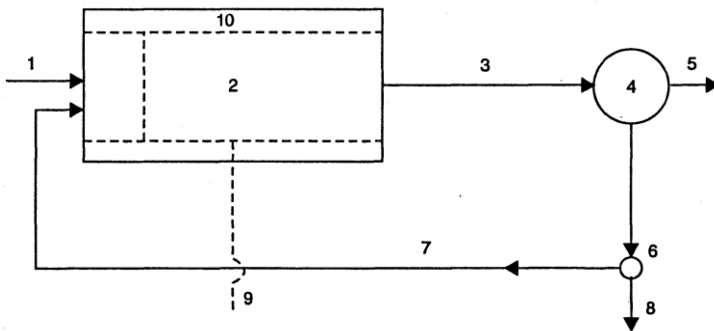


Рисунок 3.16 – Схема биологической очистки сточных вод в проточном режиме [5]: 1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 – воздух из воздуходувок; 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

Перемешивание иловой смеси в отстойных сооружениях приводит к ее разделению под действием гравитационных сил на биологически очищенную воду и активный ил, оседающий и уплотняющийся в нижней иловой части отстойного сооружения. Концентрация ила в ней за время разделения иловой смеси может достигать 6–10 г/л по сухому веществу в зависимости от концентрации ила в поступающей иловой смеси, условий отстаивания и конструктивных особенностей отстойного сооружения.

Достичь дальнейшего повышения концентрации ила в этой зоне практически не удастся, так как чрезмерное увеличение длительности пребывания активного ила в обескислороженной воде в отстойнике приводит, с одной стороны, к ухудшению седиментационной способности ила и повышению выноса иловой взвеси с очищенной водой, а с другой – к ухудшению метаболических свойств ила и снижению окислительной мощности аэротенка. От концентрации ила, выводимого из отстойных сооружений, зависят расход циркуляционного ила, возвращаемого в аэротенк, и объем избыточного активного ила, а следовательно, и энергетические затраты на перекачку, и строительные объемы сооружений, их принимающих.

Поскольку концентрация ила из отстойных сооружений в 2–4 раза выше дозы ила, поддерживаемой в аэротенке, то циркуляционный расход может составлять 30–60 % расхода поступающей на очистку сточной воды.

Если проанализировать условия, в которых находится активный ил на всем пути его прохождения от входа в аэротенк до выхода из него, можно выделить следующее *особенности* приведенной схемы:

1) по гидравлическому режиму движения иловой смеси вдоль сооружения аэротенк является вытеснителем, где более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей (рисунок 3.17);

2) нагрузка загрязнений на активный ил максимальная у входа в аэротенк и постепенно снижается до практически нулевого ее значения на выходе из аэротенка по мере снижения концентрации БПК в сточных водах до минимально возможных ее значений при полной биологической очистке;

3) в соответствии с нагрузкой на ил снижается и потребность активного ила в кислороде;

4) из-за колебаний расхода сточных вод, поступающих на очистку, сравнительно медленной скорости продольного движения иловой смеси и достаточно высокой интенсивности аэрации иловой смеси в аэротенке происходит продольное перемешивание ранее поступивших порций сточных вод с более поздними, в результате чего нарушается сходство с режимом идеального вытеснения. Это нарушение будет тем существеннее, чем ниже скорость продольного движения сточных вод в аэротенке, т.е. чем шире аэротенк и, следовательно, чем он короче;

5) удаляемые из сточных вод загрязнения проходят полный цикл метаболических превращений в одном и том же сооружении с момента изъятия их активным илом до момента введения ила в очередной контакт с загрязнениями после возврата его в аэротенк из вторичного отстойника;

6) если в сточной воде токсичных или других ингибирующих биологические процессы веществ активный ил циклически подвергается их шок-воздействию при очередном возврате его в аэротенк;

7) потребность в перемешивании иловой смеси для поддержания ила во взвешенном состоянии остается практически постоянной по всей длине аэротенка, что не позволяет полностью использовать окислительную способность подаваемого в аэротенк воздуха и отрицательно сказывается на энергетических показателях работы аэротенка.

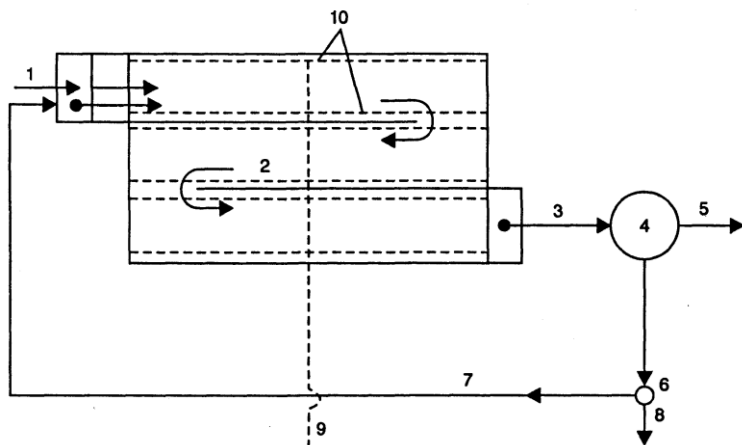


Рисунок 3.17 – Аэротенк-вытеснитель (см. позиции на рисунке 3.16) [5]

Систематизация результатов исследований и анализ опыта эксплуатации сооружений биологической очистки привели к созданию ряда **модификаций приведенной схемы очистки сточных вод** в аэротенках.

Одной из наиболее ранних модификаций является *применение переменной интенсивности аэрации по длине аэротенка*, целью которой является приближение режима подачи воздуха (кислорода) в аэротенк к скорости его потребления активным илом, характеризующейся кривой снижения БПК.

В модификации классической схемы осуществляется ступенчатое регулирование подачи воздуха по длине аэротенка, более или менее приближающееся к потребностям процесса очистки в кислороде, что позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы системы аэрации и поддерживать концентрацию растворенного кислорода на минимально возможном с точки зрения протекания биологических процессов уровне, избегая как недостатка кислорода, так и его избытка по всей длине аэротенка. По данной схеме работают широко применяемые в настоящее время аэротенки-вытеснители с пневматической системой аэрации.

Второй модификацией классической схемы является *применение продольного секционирования аэротенков поперечными перегородками*, не доходящими либо до дна (или чередующимися: не доходящими то до дна, то до уровня воды), либо до противоположной стены (рисунок 3.18). Секционирование позволяет практически исключить продольное перемешивание иловой смеси в аэротенке и обеспечить более полное приближение технологического режима работы аэротенка к режиму идеального вытеснителя и более строго поддерживать заданный режим аэрации в пределах каждой секции, а следовательно, обеспечить стабильное качество очистки на выходе из аэротенка.

Наиболее существенные отличия от классической схемы биологической очистки в аэротенках имеет модификация, заключающаяся в разделении процессов изъятия загрязнений и их окисления. Деление на такие стадии процесса очистки носит условный характер, поскольку практически невозможно разграничить эти фазы, тем более, что и сам процесс изъятия носит ферментативный характер, особенно в отношении растворенных органических веществ. Поэтому представляется целесообразной организация раздельного протекания этих стадий процесса в условиях, оптимальных для каждой из них, что обеспечит повышение эффективности работы аэротенков в целом.

Одноступенчатая схема с регенераций активного ила заключается в том, что после извлечения загрязнений из сточной воды в аэротенках активный ил с накопленными в нем загрязнениями отделяется от очищенной воды и подается не в аэротенк, а в специальное аэрационное сооружение, называемое *регенератором*, в котором он аэрируется в течение определенного времени без сточных вод (рисунок 3.19).

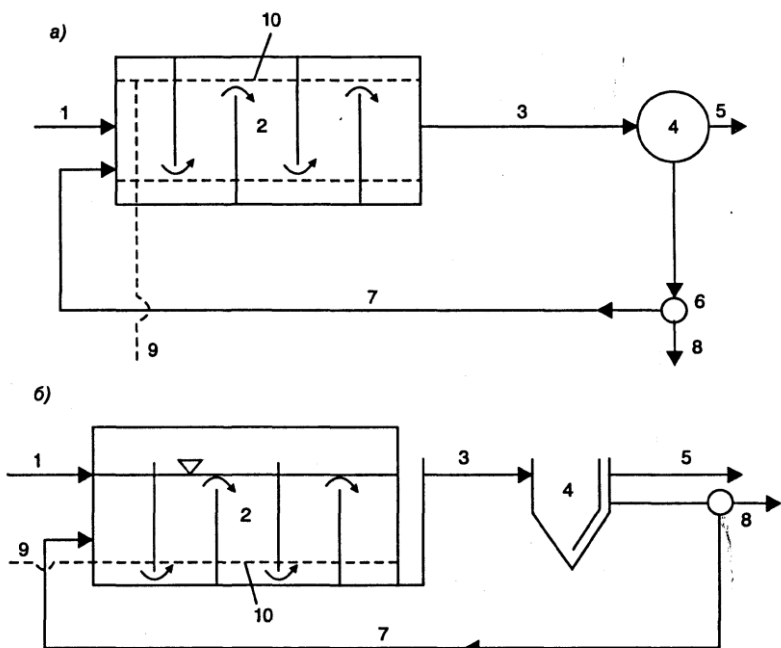


Рисунок 3.18 – Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками (см. позиции на рисунке 3.16) [5]:
a – не доходящими до противоположной стены; *б* – поочередно не доходящими до дна и до уровня воды в аэротенке

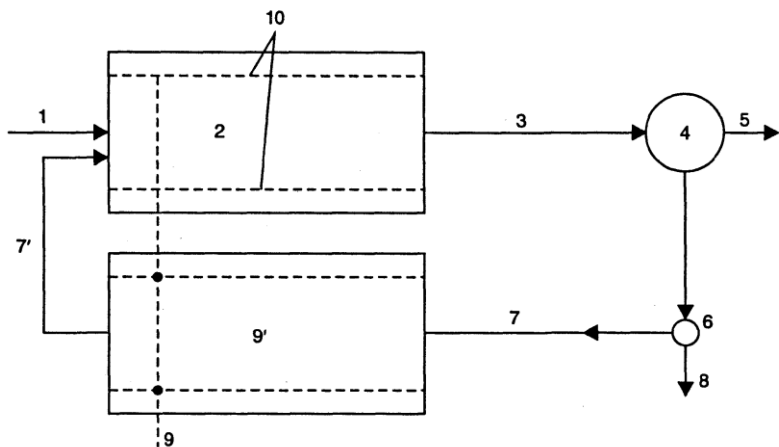


Рисунок 3.19 – Одноступенчатая схема очистки сточных вод в аэротенке с регенерацией активного ила (см. позиции на рисунке 3.16) [5]:
7' – регенерированный активный ил; *9'* – регенератор ила

В регенераторе ил освобождается от накопленных им в аэротенке загрязнений и восстанавливает свою метаболическую активность. В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться в виде как отдельно стоящих сооружений и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков (рисунок 3.20). Затем регенерированный ил направляется в аэротенк для нового контакта с очищаемыми сточными водами и повторения цикла изъятия из нее загрязнений. В аэротенке обеспечивается контакт активного ила с загрязнениями такой длительности, которой достаточно только для изъятия загрязнений из очищенной воды (1,5–2,5 ч).

Режим аэрации в аэротенке направлен на создание условий, наиболее благоприятных для доступа активного ила к загрязнениям, т.е. постоянного и эффективного перемешивания и аэрации иловой смеси. Концентрация растворенного кислорода в аэротенке поддерживается в пределах 0,5–2,0 мг/л. Скорость потребления кислорода значительно более высокая, чем в регенераторе, поскольку в аэротенке протекают более быстрые процессы первичной трансформации загрязнений при их изъятии из очищенной воды.

Длительность пребывания ила в регенераторе значительно больше длительности аэрации в аэротенке, хотя суммарная длительность изъятия и окисления загрязнений остается той же, что и при реализации процесса по классической схеме. Однако концентрация ила в регенераторе в 2–2,5 раза выше, чем в аэротенке, поскольку ил в него направляется прямо из отстойных сооружений и без подачи сточных вод. Это позволяет на 15–20 % уменьшить суммарный объем аэрационных сооружений по сравнению с объемом при осуществлении процесса очистки только в аэротенке.

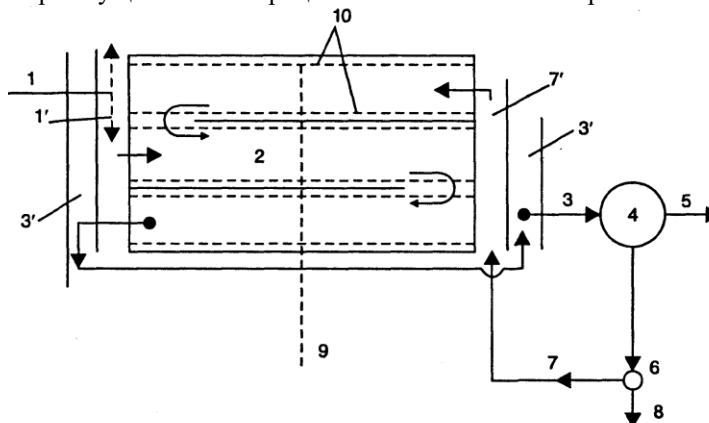


Рисунок 3.20 – Аэротенк-выгеснитель с регенерацией 33 %

(см. позиции на рисунке 3.16) [5]:

1' – канал сточной воды на биологическую очистку; 3' – канал иловой смеси;
7' – канал циркуляционного активного ила

Требующийся объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема аэротенков и регенераторов, называется *процент регенерации*. Если, например, требуемый объем регенераторов составляет 30 % суммарного объема, то обеспечить его можно выделив один коридор трехкоридорных аэротенков под регенератор (см. рисунок 3.20).

Для обеспечения 50 % регенерации можно принять под регенератор либо 2 коридора четырехкоридорных аэротенков, либо один коридор двухкоридорных аэротенков. Поскольку типовые аэротенки разработаны в виде 2-, 3-, 4-коридорных, то в них можно обеспечить 25, 33, 50, 66, 75 % регенерации, выделяя от одного до трех коридоров аэротенка под регенерацию.

Другой, и наиболее значительной, альтернативной аэротенку-вытеснителю являются *аэротенки-смесители*, обеспечивающие относительное постоянство условий, в которых находится активный ил. Главное преимущество этих сооружений заключается в возможности сглаживания залповых или шоковых нагрузок на активный ил в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Это происходит за счет того, что в аэротенках-смесителях порция сточных вод, поступающая в сооружение, быстро распределяется в большом объеме аэротенка, в результате этого все зоны аэротенка будут содержать одинаковую смесь загрязнений, подвергшихся различной степени воздействия активного ила. Выходящие из аэротенка сточные воды могут содержать в таком случае и мельчайшие частицы практически неокисленных загрязнений. Возможность исключения проскока достигается равномерным распределением поступающих в аэротенк сточных вод и ила, а также интенсивным перемешиванием всего содержимого аэротенка и равномерным отводом иловой смеси из него. При длинных аэротенках на крупных очистных сооружениях это обеспечивается не торцевым подводом воды и ила, а впуском их вдоль продольной стены аэротенка и сбором иловой смеси вдоль противоположной стены (рисунок 3.21, а). Хорошие условия для эффективного смешения на сравнительно небольших очистных сооружениях создаются в квадратных или круглых в плане аэрационных зонах с подводом сточной воды и ила в центр зоны и периферийным сбором и отводом иловой смеси (рисунок 3.21, б).

Модификацией, занимающей промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями, являются *аэротенки с рассредоточенной подачей воды* (рисунок 3.22). В них в определенной степени сочетаются преимущества аэротенка-вытеснителя, обеспечивающего высокое качество очистки, с достоинствами аэротенка-смесителя, позволяющего усреднить нагрузку на активный ил вдоль сооружения, что особенно важно при необходимости снять залповые перегрузки активного ила, либо из-за случайных повышений концентрации загрязнений, либо при непредвиденном поступлении токсичных или других вредных для биологических процессов веществ.

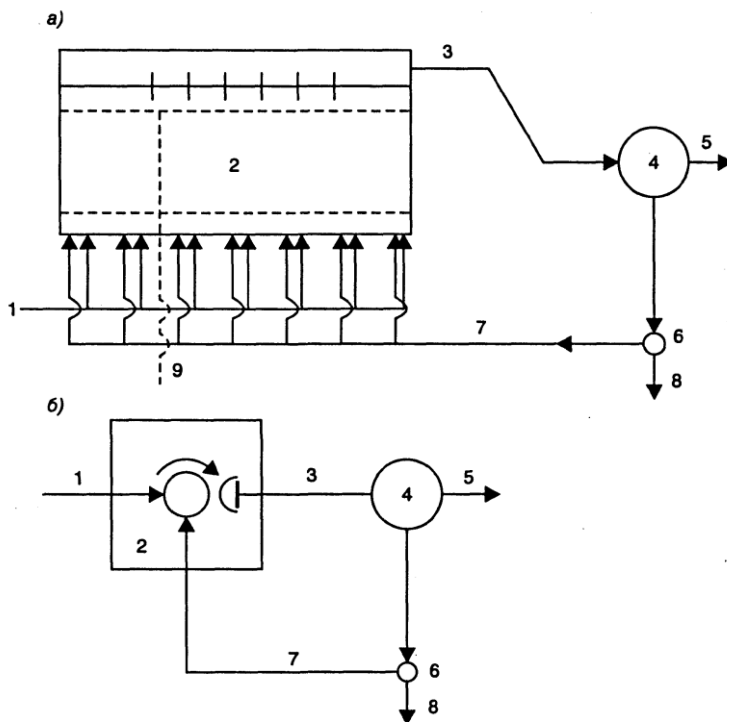


Рисунок 3.21 – Аэротенк-смеситель (см. позиции на рисунке 3.16) [5]:
a – с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения; *б* – с центральным подводом
 воды и ила в аэрационную зону [3]

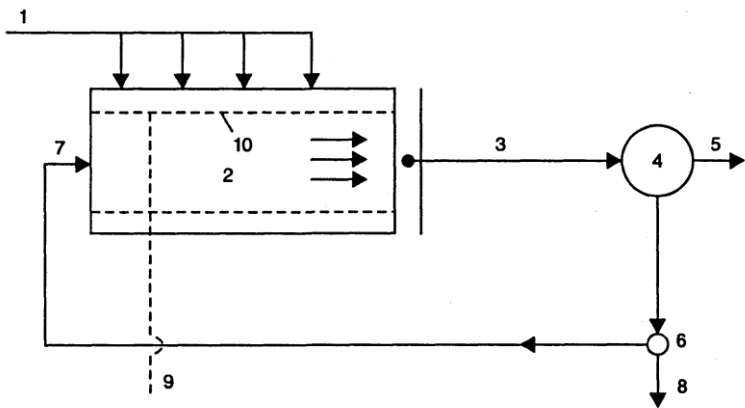


Рисунок 3.22 – Аэротенк с рассредоточенным впуском воды на очистку
 (см. позиции на рисунке 3.16) [5]:

В аэротенках, работающих по схеме рассредоточенной подачи воды, активный ил подается сосредоточенно в торец головной части аэротенка, а сточная вода вводится в нескольких точках аэротенка вдоль продольной стены. Выпуск иловой смеси осуществляется в конце аэротенка, последняя точка ввода сточной воды должна находиться на некотором расстоянии от выхода из аэротенка.

В ряде случаев, особенно при наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко различающимися скоростями их биохимического окисления, применяется устройство двух, а иногда и трех ступеней биологической очистки и очищаемая вода проходит последовательно через каждую из них (рисунок 3.23).

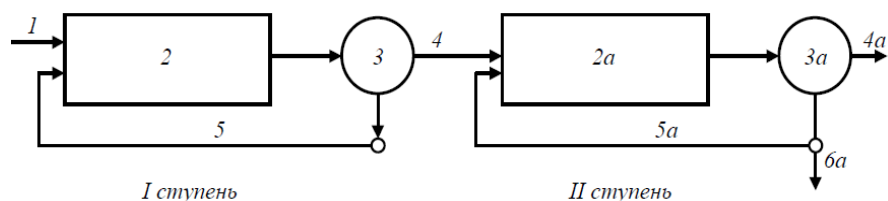


Рисунок 3.23 – Схема работы двухступенчатых аэротенков [9]:

1 – подача сточной воды на очистку; 2 и 2a – аэротенки I и II ступени; 3 и 3a – вторичный отстойник I и II ступени; 4 и 4a – очищенная вода после I и II ступени; 5 и 5a – циркуляционный активный ил I и II ступени; 6a – избыточный активный ил II ступени

Каждая ступень имеет свою замкнутую систему циркуляционного активного ила; избыточный же ил может удаляться как из каждой ступени, так и только из последней ступени аэротенков. Практически всегда в качестве аэротенков второй и третьей ступени (т. е. последней ступени биологической очистки) применяются аэротенки-вытеснители (хотя могут применяться и аэротенки с рассредоточенным впуском воды в них) для обеспечения постоянства качества очистки. Аэротенки-смесители более эффективны на первой ступени для снятия основной массы загрязнений при более низкой степени очистки (т.е. для частичной очистки сточной воды).

Использование процессов самоокисления активного ила на 50–70 % позволяет осуществлять обработку активного ила, которую называют аэробной минерализацией или аэробной стабилизацией ила.

Если аэробная обработка ила осуществляется в отдельных резервуарах типа регенераторов, то она называется *аэробной минерализацией*. Длительность пребывания избыточного активного ила в аэробных стабилизаторах составляет 7–12 сут. Подчеркнем, что в регенераторах циркуляционный активный ил освобождается от накопленных в аэротенке загрязнений, а в аэробных минерализаторах избыточный активный ил подвергается само-

окислению. После минерализации активный ил сравнительно легко обезвоживается и подсушивается. Аэробная минерализация, как в аэротенках продленной аэрации, так и отдельных минерализаторах, находит применение лишь на небольших очистных сооружениях.

Продленная аэрация может применяться не только для снижения БПК, но и для глубокой очистки сточной воды от азота аммонийного (при определенной длительности пребывания активного ила в системе биологической очистки в нем развиваются нитрифицирующие микроорганизмы, переводящие аммонийный азот сначала в нитриты, а затем в нитраты).

3.3.4 Сооружения для удаления веществ, подверженных биохимическому разложению и денитрификации

Сооружения биологической очистки с активным илом, предназначенные для очистки сточных вод с денитрификацией и удалением загрязняющих веществ, подверженных биохимическому разложению и соединений азота включают отдельные технологические емкости или зоны, в которых создаются аэробные и анаэробные условия. При этом в аэробных условиях производится нитрификация, а в анаэробных условиях – денитрификация. Процесс деструкции органических веществ, оцениваемых по БПК₅, производится преимущественно в аэробных условиях. Нитрификация осуществляется после предварительной деструкции веществ, подверженных биохимическому разложению.

Процессы нитрификации и денитрификации могут осуществляться одновременно в одном сооружении или разделяться за счет использования разных технологических емкостей.

Процесс **нитрификации** протекает в *две стадии*:

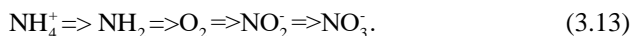
– окисление аммиака (NH_4^+) до нитритов (NO_2^-) – осуществляется бактериями группы **NITROSO-**: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira* и *Nitrosovibrio*;

– окисления азотистой кислоты (нитриты) до азотной (нитраты). Нитрификаторы второй стадии относятся к родам **NITRO-** как: *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*, *Nitrocystis*, *Nitrobacter*.

Нитрифицирующие бактерии (нитрификаторы) являются автотрофами, которым углерод необходим в неорганической форме (углекислота, карбонаты, бикарбонаты). Они характеризуются низким приростом из-за невысокого коэффициента энергии процесса окисления аммонийного и нитратного азота.

Низкий прирост нитрификаторов является главной проблемой для процесса нитрификации в сооружениях биологической очистки сточных вод, работающих по классической схеме биологической очистки.

Процессы нитрификации проходят при наличии в системе растворенного кислорода:



Реакции связаны с энергетическими процессами окисления аммиака и синтеза клеточного вещества.

На процессы нитрификации оказывают влияние следующие факторы:

- концентрация субстрата;
- температура;
- концентрация растворённого кислорода;
- рН и токсичные компоненты.

Концентрации нитрита (NO_2^-) и нитрата (NO_3^-) оказывают влияние на максимальную скорость роста *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* и соответственно на эффективность процессов нитрификации.

Для оптимизации процесса нитрификации рекомендуется принимать значение рН = 7,2...8,5, минимальную концентрацию растворённого кислорода – 2 мг/дм³ [8].

По сравнению с другими видами бактерий нитрификаторы не так чувствительны к токсичным компонентам, но тяжёлые металлы (Cu, Ni, Cr, Zn, Co) и некоторые органические соединения (сернистые, анилиновые, фенольные и цианиды) могут оказывать ингибирующее влияние на процессы нитрификации.

Эффективная нитрификация – не всегда благоприятный процесс и может приводить к ухудшению качества очищенных сточных вод на сооружениях биологической очистки, обеспечивающих глубокую нитрификацию, в результате денитрификации во вторичных отстойниках по причине разрывания хлопьев ила газообразным азотом, всплывания на поверхность отстойника и выноса с очищенной водой. Смена температурного режима в летний период усугубляет это явление. Возникает парадоксальная ситуация, при которой чем выше степень очистки и глубже идут процессы нитрификации, тем больше опасность загрязнения водных объектов в результате избыточного выноса ила из вторичных отстойников по причине денитрификации.

Падение удельных нагрузок на ил (количество органических загрязнений, выраженное показателем БПК, приходящееся на грамм сухого вещества ила) позволяет повысить эффективность очистки, усилить нитрификацию и провоцирует развитие денитрификации.

Денитрификация – процесс восстановления азота с помощью денитрификаторов в процессе дыхания в анаэробных условиях.

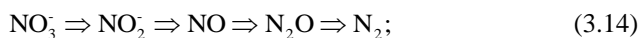
Денитрифицирующие бактерии являются гетеротрофными микроорганизмами и представляют группу факультативных анаэробов, которые используют органические вещества как источник углерода. Они могут расти и развиваться как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Однако денитрификация интенсивней проходит при ограниченном доступе кислорода.

Денитрифицирующие бактерии обладают двумя источниками энергии. Все они могут вести окисление органических веществ кислородом воздуха, а при отсутствии кислорода могут также вести окисление веществ при сопряженном восстановлении нитратов с образованием N_2 .

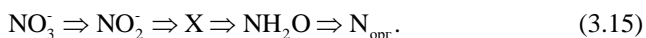
Способностью осуществлять денитрификацию обладают разные роды бактерий сточной воды: *Achromobater*, *Aerobater*, *Alkaligenes*, *Balicus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* и др.

При денитрификации происходит восстановление окисленных форм азота (NO_3^-). При этом реакции денитрификации могут идти двумя путями:

– диссимилиация нитратов (или нитратное дыхание), т. е. восстановление нитрата до нитрита с получением в качестве конечного продукта газообразного азота:



– ассимиляция нитрата, при которой азот не уходит из воды, а остается в ней в виде органических соединений:



На скорость денитрификации оказывают влияние следующие факторы:

- наличие субстрата (источник углерода);
- температура;
- концентрация растворённого кислорода;
- pH.

Растворённый кислород ингибирует процессы денитрификации.

Оптимальное значение pH для процесса нитрификации – 7–9. Низкое значение (pH < 7) оказывает влияние на конечные продукты процесса денитрификации. Когда pH уменьшается, увеличивается количество окиси азота, особенно N_2O .

Процесс одновременной нитрификации-денитрификации постоянно присутствует на всех сооружениях, обеспечивающих глубокую нитрификацию, поскольку всегда имеются анаэробные зоны на разных участках биологической очистки. На сооружениях биологической очистки сам по себе процесс денитрификации положительный, поскольку позволяет освобождать воду от окисленных форм азота, однако при обычной схеме очистки денитрификация происходит в основном во вторичных отстойниках (особенно часто – в летний период) и сопровождается значительным выносом хлопьев активного ила. Этому способствует образующийся в иловой массе на дне вторичных отстойников газообразный азот. Кроме того, свободный азот образуется внутри хлопьев, разрывает их, измельчает, и вынос взвешенных веществ еще более усугубляется, так как рваные хлопья плохо флокулируют и коагулируют во вторичных отстойниках.

Денитрификация может наблюдаться во вторичных отстойниках очистного комплекса, который не предназначен для обеспечения глубокой нитрификации. Такой комплекс работает при низком возрасте ила (2–5 сут) в летний период при температуре воды выше 25 °С. В этом случае при контроле процесса денитрификации необходимо измерять температуру воды во вторичных отстойниках, так как после 12 часов дня малоподвижная толща воды в них может значительно прогреваться [13].

Сточные воды обладают одновременно как нитрификационным, так и денитрификационным потенциалом и могут при хорошей способности к нитрификации не обладать склонностью к денитрификации, и наоборот. Это связано с тем, что нитрификация и денитрификация требуют противоположных окислительных или восстановительных условий. Примеры различного состава сточных вод на очистных сооружениях по значениям нитрификационного и денитрификационного потенциала представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Значения нитрификационного и денитрификационного потенциала сточных вод различного состава [21]

Отношение БПК ₅ к азоту общему в сточных водах, поступающих на биологическую очистку	Потенциал	
	нитрификационный (норма от 0,5 до 6,5)	денитрификационный (норма не менее 3,5 до 8,0)
90,0 / 25,1 = 3,58	Хороший	Удовлетворительный
110,0 / 22,0 = 5,0	Оптимальный	Оптимальный
116,0 / 18,7 = 6,2	Удовлетворительный	Хороший
118,0 / 23,0 = 5,1	Оптимальный	Оптимальный
160,0 / 22,4 = 7,4	Плохой	Отличный

Анализ потенциала сточных вод к нитрификации или денитрификации проводится на стадии проектирования, реконструкции очистных сооружений или при разработке мероприятий по повышению эффективности процессов удаления азотсодержащих соединений. Такой анализ позволяет выбрать оптимальное решение для интенсификации процессов удаления соединений азота с учетом качества конкретных сточных вод и их склонности к нитрификации или денитрификации.

Например, отношение БПК₅ к общему азоту в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, составляет 7,4. Это значение как нитрификационный потенциал слишком высокое, так как оптимальная величина находится в интервале от 0,5 до 6,5. Следовательно, для обеспечения эффективной нитрификации при очистке данных сточных вод необходимо предусмотреть повышенный период аэрации, большой возраст активного ила, эффективные конструкции первичных отстойников (для снижения нагрузки на

активный ил) и вторичных отстойников (для поддержания максимальной концентрации ила в аэротенках) и т. п.

Значение 7,4 как денитрификационный потенциал отличное, так как для успешной денитрификации, чем больше величина отношения БПК₅ к общему азоту, тем лучше. Для обеспечения денитрификации при очистке этих сточных вод потребуется простое перемешивание сточных вод мешалками и добавками небольшого количества осветленных сточных вод в денитрификатор.

При низких значениях денитрификационного потенциала необходимо предусмотреть мероприятия по интенсификации процесса денитрификации: добавки в денитрификатор восстановителей или ацидофикацию сырого осадка; в аэротенках обязательную изоляцию анаэробных и анаэробных зон.

Для удаления соединений азота в системах биологической очистки с активным илом предусматривается *нитрификация* с окислением аммонийных форм азота в аэробных условиях и *денитрификация* в анаэробных условиях с преобразованием азота нитратов в молекулярный азот.

Для обеспечения денитрификации необходимо предусматривать рециркуляцию в зоны с анаэробными условиями иловой смеси и (или) возвратного ила, которые содержат нитраты, полученные в аэробных зонах, либо периодическое чередование аэробных и анаэробных условий.

Сооружения биологической очистки с активным илом, предназначенные для очистки сточных вод с денитрификацией и удалением загрязняющих веществ, которые подвержены биохимическому разложению, и соединений азота, включают отдельные технологические емкости или зоны, где создаются аэробные и анаэробные условия. При этом в аэробных условиях производится нитрификация, а в анаэробных условиях – денитрификация. Нитрификация преимущественно осуществляется после предварительной деструкции веществ, подверженных биохимическому разложению.

Процессы нитрификации и денитрификации могут осуществляться одновременно в одном сооружении или разделяться за счет использования разных технологических емкостей, или разделяться с обработкой сточных вод в одних и тех же емкостных сооружениях, но с чередованием фаз обработки по времени.

Процесс деструкции органических веществ, оцениваемых по БПК₅, производится преимущественно в аэробных условиях.

Доза и возраст ила в технологических сооружениях определяются технологическими и технико-экономическим расчетами с учетом способа разделения иловой смеси. При разделении иловой смеси отстаиванием доза ила принимается по таблице 3.9.

Для проведения процесса нитрификации необходимо поддерживать:

- концентрацию кислорода – не ниже 2,0 мг/дм³;
- рН среды – в пределах от 7,5 до 8,3;

- нагрузку на ил по органическим загрязнениям – от 0,02 до 0,15 кгБПК₅/(кг·сут);
- нагрузку на ил по азоту – от 0,02 до 0,05 кгN/(кг·сут).

Выбор технологической схемы удаления соединений азота необходимо производить с учетом:

- требований к содержанию соединений азота, в том числе в аммонийной и нитратной форме в очищенной воде;
- требований к удалению других биогенных загрязняющих веществ;
- технологии обработки осадка сточных вод;
- технико-экономических требований.

Последующая денитрификация (рисунок 3.24) – сточная вода подается из нитрификатора после завершения процесса окисления аммонийных соединений в денитрификатор. После денитрификатора производится отведение иловой смеси в отстойник, разделение ила от очищенной воды и рециркуляция возвратного активного ила в нитрификатор. Вследствие относительно низких значений БПК₅ в сточной воде после завершения процессов нитрификации скорость денитрификации ограничена из-за дефицита доступного органического субстрата. Поэтому для получения глубокой степени удаления азота требуются большие объемы технологических емкостей или дозирования субстрата в поток иловой смеси перед его поступлением в денитрификатор.

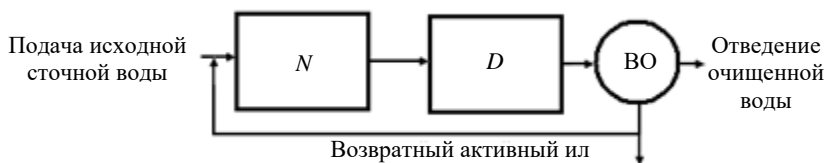


Рисунок 3.24 – Схема последующей денитрификации:
D – денитрификатор; N – нитрификатор; ВО – вторичный отстойник

Если денитрификатор устанавливается на последней стадии очистки, то после него предусматривается *постаэрактор* с продолжительностью пребывания сточных вод от 30 минут до часа для отдувки азота (N₂), который, попав во вторичный отстойник, затруднит осаждение активного ила. Отдувка производится воздухом с удельным расходом 0,5 м³/м³·ч.

В постаэракторе одновременно с отдувкой азота происходит частичное доокисление органических веществ, поступивших из денитрификатора в случае передозировки питательного субстрата.

При **предварительной денитрификации** (рисунок 3.25) подача исходной сточной воды и возвратного активного ила осуществляется в денитрификатор. Для обеспечения подачи нитрата из нитрификатора в денитрифи-

катор предусматривается рециркуляция иловой смеси в указанном направлении. Степень рециркуляции иловой смеси с учетом расхода возвратного активного ила определяется в зависимости от степени удаления нитрата.

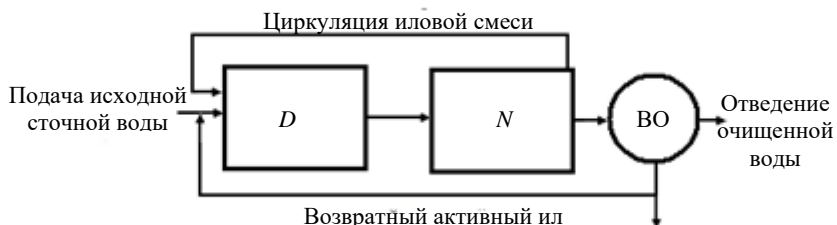


Рисунок 3.25 – Схема предварительной денитрификации (см. обозначения на рисунке 3.24)

Для снижения выноса кислорода при рециркуляции иловой смеси в денитрификатор и предотвращения ингибирования реакций удаления азота при предварительной денитрификации без применения дополнительной обработки рециркулирующей иловой смеси содержание кислорода в нитрификаторе не должно превышать 2 мг/л [24].

Значение коэффициента внутренней рециркуляции иловой смеси необходимо принимать минимальным, обеспечивающим достижение требуемой степени денитрификации, во избежание увеличения выноса растворенного кислорода и снижения расхода электроэнергии на перекачку иловой смеси.

Технологические емкости для денитрификации и нитрификации могут выполняться секционированными. При выполнении денитрификатора в виде секций емкостей для повышения гибкости схемы очистки один или два последних отсека по направлению движения потока очищаемой сточной воды необходимо оснащать как устройствами для перемешивания, так и аэрационными системами. Данные отсеки необходимо использовать для увеличения объема нитрификатора и предотвращения снижения интенсивности нитрификации при снижении температуры иловой смеси в холодный период года.

Количество секций принимается в зависимости от неравномерности поступления сточных вод на очистные сооружения и интервала колебаний соотношения концентраций азота и БПК₅ в исходной сточной воде.

Конфигурация технологических емкостей при предварительной денитрификации может выполняться прямолинейной или П-образной (рисунок 3.26).

При использовании П-образной конфигурации сооружений подача иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор осуществляется через отверстие или патрубок в разделительной стенке между коридорами без устрой-

ства дополнительных трубопроводов для внутренней рециркуляции. При использовании коридорных конструкций сооружений биологической очистки для размещения системы предварительной денитрификации рециркуляция иловой смеси может быть организована подачей по трубопроводам, соединяющим смежные коридоры, или подачей через коридор.

Для снижения содержания растворенного кислорода в циркуляционном потоке иловой смеси, подаваемой в денитрификатор, в конце нитрификатора по направлению движения иловой смеси необходимо устраивать емкости с перемешивающими устройствами без аэрации для поглощения растворенного кислорода.

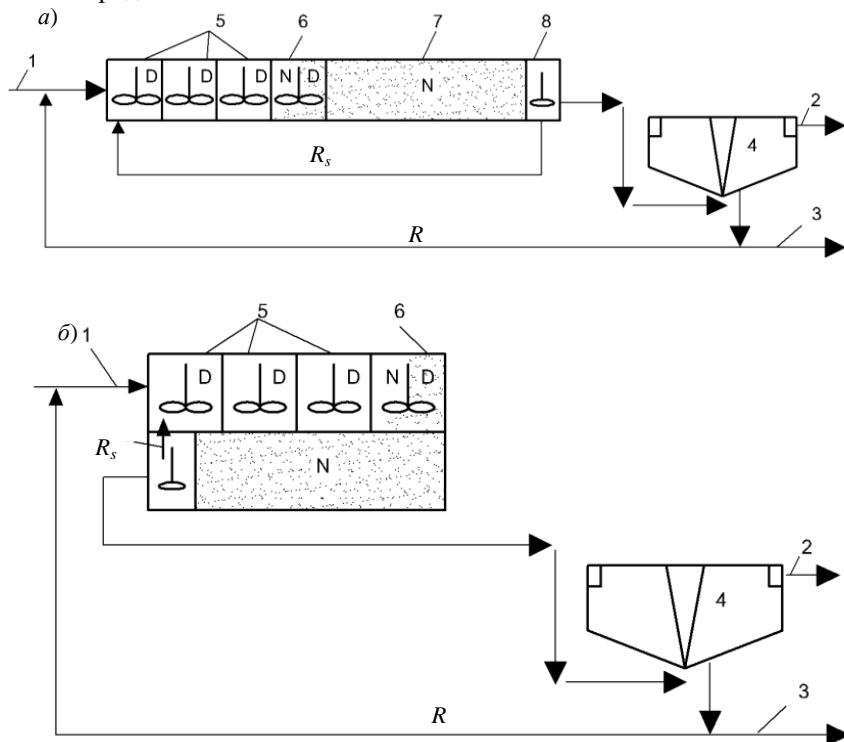


Рисунок 3.26 – Схема предварительной денитрификации с секционированным денитрификатором:

- а – линейной формы; б – П-образной формы; 1 – подача исходной сточной воды;
- 2 – отведение очищенной сточной воды; 3 – отведение избыточного активного ила;
- 4 – вторичный отстойник; 5 – денитрификаторы; 6 – комбинированная секция нитрификатор-денитрификатор; 7 – нитрификатор; 8 – секция для удаления кислорода из иловой смеси;
- R_s – рециркуляция иловой смеси; R – рециркуляция активного ила

При каскадной денитрификации (рисунок 3.27) предусматривается две или более ступени технологических емкостей с активным илом, работающих по принципу предварительной или параллельной денитрификации, через которые последовательно проходит очищаемая сточная вода. Поток исходной сточной воды разделяется и подается в денитрификаторы.

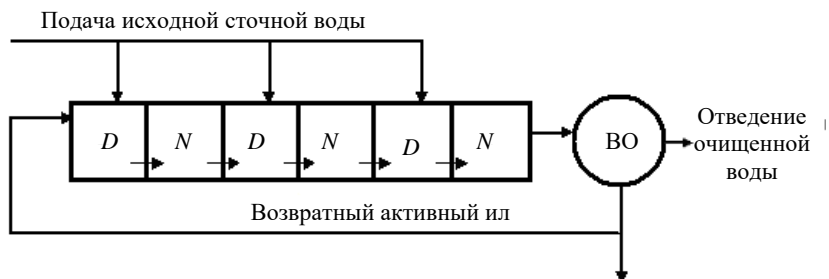


Рисунок 3.27 – Схема каскадной денитрификации (см. обозначения на рисунке 3.24)

При проектировании каскадных систем денитрификации необходимо учитывать, что на каждой последующей ступени требуется удалять увеличивающееся количество образующегося нитрата при снижении поступления органического углерода.

При распределении потока исходной сточной воды по ступеням очистки необходимо учитывать снижение дозы ила на последующих ступенях очистки. Выполнение технологических емкостей с одинаковыми объемами на всех ступенях при равномерном распределении расходов исходной сточной воды по ступеням приводит к различным значениям нагрузки на ил на отдельных ступенях каскада.

Для получения одинакового уровня нагрузки на ил необходимо предусматривать технологические емкости различных объемов или при одинаковых объемах емкостей регулировать распределение расхода исходной сточной воды по денитрификаторам.

При использовании технологических емкостей одинаковых объемов регулирование распределения расхода исходной сточной воды между денитрификаторами должно обеспечивать равномерную нагрузку на ил на отдельных ступенях и одинаковый потенциал нитрификации на всех ступенях. Отношение между дозами ила на ступенях очистки рекомендуется поддерживать равным отношению между расходами исходной сточной воды, подаваемой в денитрификаторы.

При отсутствии перепадов отметок между ступенями емкостей и одинаковых отметках дна емкостей для обеспечения требуемого гидравлического уклона рекомендуется предусматривать уменьшение объема емкостей от ступени к ступени.

При использовании схемы каскадной денитрификации в условиях высоких концентраций соединений азота в исходной сточной воде необходимо предусматривать дополнительную рециркуляцию иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор (рисунок 3.28, а).

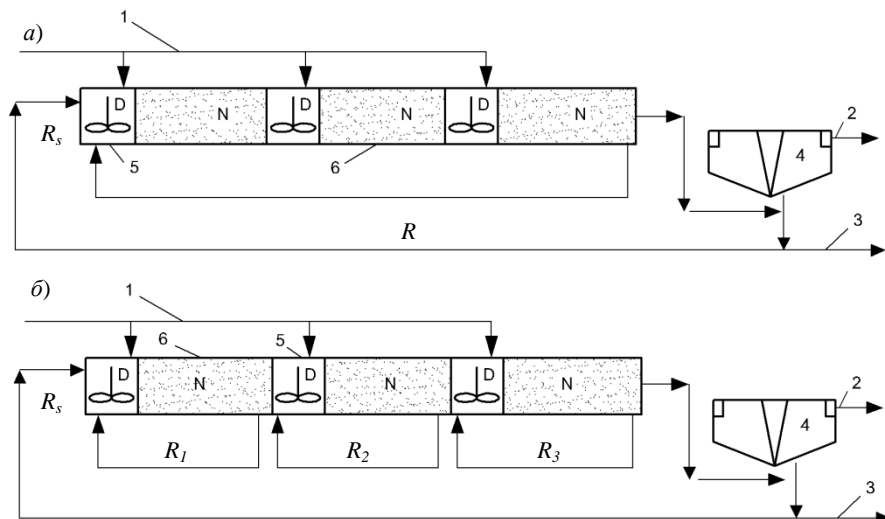


Рисунок 3.28 – Схема каскадной денитрификации:

а – с рециркуляцией иловой смеси из последней ступени (нитрификатор) в первую ступень (денитрификатор); б – с рециркуляцией иловой смеси на каждой ступени; 1 – подача исходной сточной воды; 2 – отведение очищенной сточной воды; 3 – отведение избыточного активного ила; 4 – вторичный отстойник; 5 – денитрификатор; 6 – нитрификатор; R_s – рециркуляция активного ила; R_1, R_2, R_3 – рециркуляция иловой смеси

При подаче иловой смеси из нитрификатора последней ступени в денитрификатор первой ступени следует учитывать снижение дозы ила в нем вследствие поступления иловой смеси с меньшим содержанием активного ила, а также изменения соотношения доз ила по ступеням очистки. Для сохранения указанных соотношений доз ила на ступенях очистки внутреннюю рециркуляцию рекомендуется предусматривать между нитрификатором и денитрификатором каждой ступени (рисунок 3.28, б).

Схема каскадной денитрификации с распределением исходной сточной воды может выполняться прямолинейной или П-образной с обеспечением возможности отключения отдельных ступеней очистки при необходимости проведения регламентных и ремонтных работ.

При дугообразном движении сточной воды по секциям сооружение должно быть оснащено в передней части поперечным желобом с задвижка-

ми или шандорным и щитами для распределения и регулирования поступления сточной воды в секции.

При параллельной денитрификации следует предусматривать обработку сточной воды при ее циркуляции через аноксидные и аэробные зоны в циркуляционных окислительных каналах или циркуляционных емкостях круглой или кольцевой формы с отсутствием выраженного разделения между зонами денитрификации и нитрификации. Процессы деструкции органических веществ, нитрификация и денитрификация производятся одновременно. Сточная вода последовательно проходит через зоны денитрификации и нитрификации. Зоны нитрификации оснащены аэраторами, а в объеме технологической емкости создается рециркуляционный поток иловой смеси, обеспечивающий транспорт нитрата из зон нитрификации в зоны денитрификации.

Для достижения устойчивого режима очистки при параллельной денитрификации следует предусматривать возможность регулирования интенсивности аэрации в зависимости от изменения концентрации нитратного азота, аммонийного азота, кислорода в иловой смеси или окислительно-восстановительного потенциала.

При использовании циркуляционных окислительных каналов для параллельной денитрификации для организации циркуляции иловой смеси и аэрации допускается использовать щеточные и поверхностные механические аэраторы или лопастные погружные пропеллерные мешалки для организации в комплексе с пневматической аэрацией.

Конструкция циркуляционных окислительных каналов может быть прямоугольной с перегородками, прямоугольными закругленными в плане, многокоридорными.

Для снижения гидравлических потерь при циркуляции иловой смеси каналы следует оснащать струенаправляющими перегородками.

При использовании для параллельной денитрификации емкостей круглого или кольцевого сечения следует предусматривать ее циркуляцию через аноксидные и аэробные зоны посредством установки в них погружных мешалок и устройства зон аэрации на части площади технологической емкости. Для аэрации следует предусматривать пневматические аэраторы.

Чередующаяся денитрификация. Технологическая схема чередующейся денитрификации включает две параллельные емкости, оборудованные аэрационными и перемешивающими устройствами. Сточная вода попеременно подается в две технологические емкости, периодически подвергаемые аэрации. Продолжительность подачи воды в емкости, а также продолжительность фаз денитрификации и нитрификации задаются по времени. Процесс очистки осуществляется в четыре фазы: А, Б, В, Д (рисунок 3.29).

Фаза «А» – в первой емкости происходит денитрификация сточной воды без аэрации, только за счет перемешивания иловой смеси. В то же время во

второй емкости производится нитрификация с проведением аэрации, после чего сточная вода поступает во вторичный отстойник. Заканчивается фаза «А» удалением нитрата, содержащегося в сточной воде первой емкости.

Фаза «Б» представляет относительно короткий промежуток времени, в течение которого производится аэрация одновременно в двух емкостях, что позволяет произвести отдувку полученного газообразного азота.

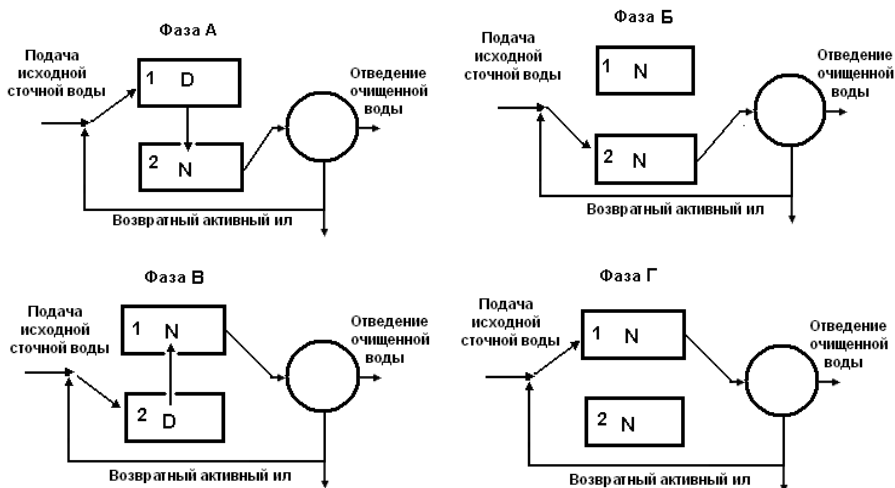


Рисунок 3.29 – Схема чередующейся денитрификации

В фазе «В» вторая емкость используется как денитрификатор, и производится удаление нитрата, полученного за время нитрификации в данной емкости.

В фазе «Г» также производится одновременная аэрация в двух емкостях, после чего цикл повторяется.

В схеме **периодической денитрификации** (рисунок 3.30) обработка сточной воды производится в одной технологической емкости с чередованием фаз нитрификации и денитрификации по времени.

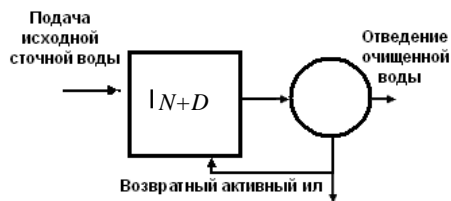


Рисунок 3.30 – Схема периодической денитрификации

По схеме периодической денитрификации работают циркуляционные окислительные каналы или емкостные сооружения. Данные сооружения оборудуются системами аэрации и устройствами для перемешивания иловой смеси. Аэрация отключается для денитрификации и включается для нитрификации.

3.3.5 Сооружения для удаления фосфора биологическим методом

Биологическое удаление фосфора основано на выдерживании микроорганизмов активного ила со сточной водой в анаэробных условиях, в которых происходит выделение фосфора из клеток микроорганизмов в сточную воду, с последующей обработкой иловой смеси в аэробных условиях при более интенсивном поглощении фосфора микроорганизмами из сточной воды и последующим частичным удалением соединений фосфора с избыточным активным илом (рисунок 3.31).

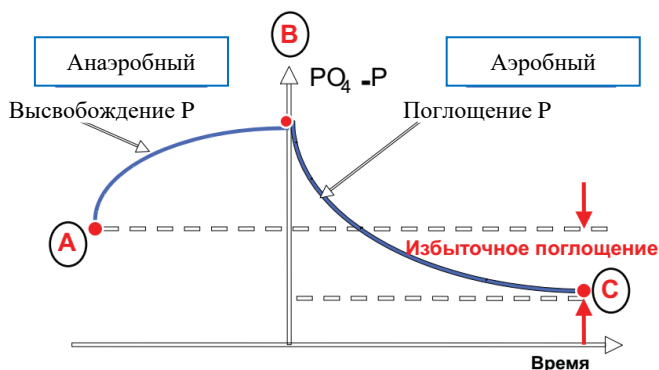


Рисунок 3.31 – Схема удаления фосфора

Фосфорнакапливающие организмы представляют собой гетеротрофы, которые приспособились к условиям чередования анаэробных и аэробных условий. Аэробные и аноксидные зоны являются родственными, так как содержат растворенный кислород, хотя и в различных формах: *аэробные* – в прямой форме, *аноксидные* – в связанной (в виде нитритов или нитратов).

В *аэробных* условиях полифосфаты и ортофосфаты усваиваются организмами активного ила, а растворенные формы органического фосфора минерализуются в ортофосфаты при помощи бактерий *Moraxella*, *Artrobakter*, *Bakteriasubtilis*.

Определенные группы бактерий активного ила обладают способностью накапливать в своих клетках (в полифосфатных гранулах, так называемых зернах волютина) растворенные формы фосфора, т. е. откладывать в запас

для последующего потребления. Таким образом, эти бактерии способны потреблять фосфора больше, чем его требуется на прирост биомассы и энергетические потребности.

Нитрифицирующие бактерии также способны накапливать полифосфаты в составе метахромотиновых гранул. Все указанные бактерии отличаются от других микроорганизмов активного ила тем, что накопление соединений фосфора в их клетках составляет довольно значительную величину (1–3 % сухой массы тела). За счет депонирования полифосфатов в клетках активного ила из сточных вод изымаются растворимые соединения фосфора.

Если в аэробных условиях аэротенков эти бактерии накапливают фосфор, то в анаэробных условиях вторичных отстойников активно выделяют его в воду в результате биохимического процесса.

Способностью фосфорнакапливающих бактерий выделять фосфор в полуанаэробных условиях вторичных отстойников объясняется практически всегда присутствующее увеличение содержания фосфатов в очищенных водах на тех сооружениях, где обеспечивается хорошая нитрификация, а следовательно, удовлетворительная аэробная стадия, которая способствует накоплению в клетках ила фосфора. Причем чем эффективнее нитрификация в аэротенках, тем больше накапливается фосфатов в клетках активного ила, и тем больше они его отдадут во вторичных отстойниках.

Остальное количество нерастворимых соединений фосфора улавливается активным илом в результате биосорбции, накапливаясь в избыточном активном иле, и с выносом взвешенных веществ из вторичных отстойников попадает в природный водный объект, депонируясь в донных осадках.

Механизм накопления фосфора в клетках бактерий и последующей его отдачи в воду сложен, но его понимание чрезвычайно важно для управления процессом удаления фосфора из сточных вод при сочетании анаэробных и аэробных условий в биологических реакторах.

Организмы активного ила, способные накапливать внутриклеточно в гранулах волютина ортофосфаты, полифосфаты и связанный органический фосфор, используют его как энергетический резерв, расходуемый на потребление субстрата в анаэробных условиях. Эти бактерии в анаэробных условиях потребляют простые легкоокисляемые органические субстраты, например, летучие жирные кислоты, и запасают их внутри клетки в виде полигидроксиалканатов, что сопровождается внутриклеточной деградацией накопленных в аэробной стадии соединений фосфора.

Энергия деградации (гидролиза) фосфатов расходуется на накопление и потребление легкоокисляемой органики, клеточный синтез и транспортный перенос в процессе дыхания в анаэробных условиях. Эти процессы сопровождаются отдачей накопленного клеткой фосфора в воду.

Результат успешно протекающей анаэробной стадии: накопление запаса органики в клетках и стимуляция у бактерий «жадного» потребления фос-

фатов в последующей аэробной стадии. Таким образом, потребление фосфатов сверх нормального уровня вызывается у факультативных аэробов их предварительным стрессированием в анаэробных условиях.

При попадании бактерий в аэробную стадию накопленный субстрат в виде полигидроксиполисахаридов начинает потребляться как источник углерода на питание и прирост биомассы бактерий, что сопровождается выделением углекислого газа и воды и повышенным потреблением из окружающей среды фосфатов, которые откладываются в клетках в полифосфатных гранулах.

Для реализации процесса дефосфотации необходимо:

- наличие анаэробной зоны с легкоокисляемым субстратом в форме летучих жирных кислот;
- расположение последовательно с анаэробной, аэробной или аноксидной зоны;
- рецикл обогащенных фосфором фосфатаккумулирующих организмов.

Для удаления соединений фосфора биологическим методом следует предусматривать анаэробные технологические емкости после первичного отстаивания. Вместимость данных емкостей следует определять из условия минимального времени контакта от 0,50 до 0,75 ч при максимальном часовом расходе сточных вод с учетом расхода циркуляционного потока активного ила.

Биологическое удаление фосфора из сточных вод, как правило, производится в сочетании с процессами нитрификации и денитрификации.

При проектировании сооружений с биологическим удалением фосфора следует избегать поступления растворенного кислорода и нитратов в потоках поступающей на очистку сточной воды и рециркуляционного активного ила, направляемого в анаэробную емкость.

При проектировании сооружений с биологическим удалением фосфора и денитрификацией следует предусматривать такую конфигурацию сооружений, при которой технологическая емкость с аэробными условиями (аэротенк, нитрификатор) находится на завершающей ступени биологической очистки перед вторичным отстойником.

Для снижения концентрации нитрата, поступающего в анаэробную емкость, необходимо:

- устраивать емкость в начале технологической схемы (рисунок 3.32, а);
- направлять поток циркуляционного активного ила в промежуточную емкость с аноксидными условиями для удаления нитрата с организацией дополнительного циркуляционного потока иловой смеси из указанной емкости в анаэробную (рисунок 3.32, б), с расположением дополнительной аноксидной емкости в схеме очистки сточных вод между анаэробной емкостью и денитрификатором;
- направлять поток циркуляционного активного ила перед его поступлением в анаэробную емкость для удаления нитрата в отдельную емкость с

аноксидными условиями (рисунок 3.32, в), которую размещают вне технологической линии очистки сточной воды;

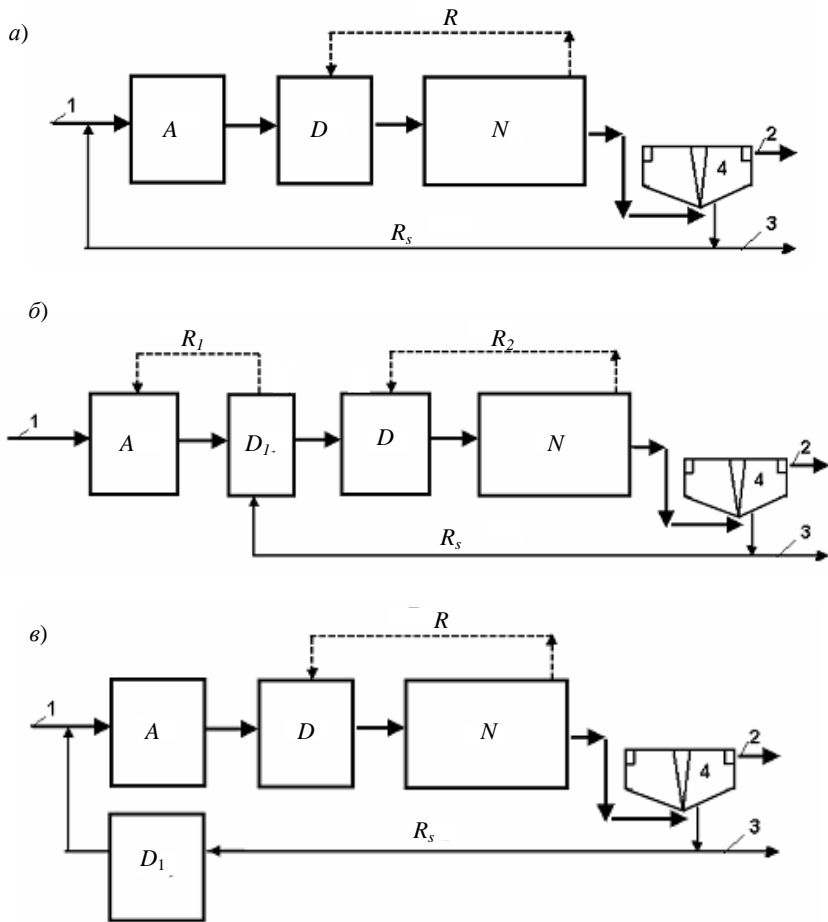


Рисунок 3.32 (начало) – Схема биологического удаления соединений фосфора:

- a* – с подачи сточной воды и рециркуляционного активного ила в анаэробную емкость;
- б* – фосфора с предварительной обработкой рециркуляционного активного ила со сточной водой в денитрификаторе (технологическая схема «UST»); *в* – с предварительной обработкой рециркуляционного активного ила в отдельном денитрификаторе (технологическая схема «JNB»);
- 1* – поступление исходной воды; *2* – отведение обработанной воды; *3* – отведение избыточного активного ила; *4* – вторичный отстойник; *A* – анаэробная технологическая емкость; *D* – денитрификатор; *D₁* – денитрификатор для рециркуляционного активного ила; *N* – нитрификатор; *R* – рециркуляция иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор; *R₁* – рециркуляция иловой смеси из денитрификатора *D₁* в анаэробную емкость; *R₂* – рециркуляция иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор; *R_s* – рециркуляция активного ила

- отсутствие необходимости в использовании дополнительных реагентов (флокулянтов);
 - снижение содержания солей в очищенных сточных водах;
 - отсутствие дополнительных тяжелых металлов в осадке;
 - меньшее количество дополнительно образующегося осадка;
 - отсутствие факторов, которые могут помешать процессу нитрификации.
- Несмотря на это, при биологическом удалении фосфора требуются:
- более высокие инвестиционные расходы на сооружение анаэробного реактора;
 - более высокая тенденция вспухания ила в земнее время года.

3.3.6 Сооружения совместного удаления азота и фосфора

Технологические схемы биологической очистки от соединений азота и фосфора отличаются большим разнообразием, но в основном включают три основных зоны:

- аэробную (высокая концентрация растворенного кислорода 2 мг/дм^3), где протекают процессы аэробной очистки от органических веществ, нитрификации (биоокисление аммонийного азота до нитратного) и дефосфотации (быстрое потребление фосфатов фосфорными бактериями);
- аноксидную (растворенный кислород практически отсутствует, но есть нитраты, а также органические вещества), где происходит процесс денитрификации;
- анаэробную (нет растворенного кислорода, нитратов и нитритов, но есть органические вещества), где идет сбразивание органических веществ до ацетата, который потребляется фосфорными бактериями с выделением в среду фосфатов.

На выбор технологической схемы очистки сточных вод от биогенных элементов влияют следующие факторы:

- требования к качеству очищенных сточных вод;
- расход сточных вод на станции;
- состав поступающих сточных вод по основным загрязнителям (в т. ч. температура сточных вод);
- реконструкция или новое строительство.

Наиболее простая схема для одновременного удаления соединений азота и фосфора (в наибольшей степени фосфора) из сточных вод на высоконагружаемых очистных сооружениях получила название анаэробно-оксидного процесса А/О (рисунок 3.33) [13], согласно которой возвратный ил перемешивается с поступающими сточными водами и подается в анаэробный реактор, затем сточные воды проходят аэробную очистку и поступают во вторичные отстойники.

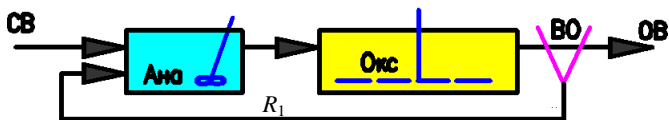


Рисунок 3.33 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод А/О:
 Ана – анаэробная зона; Окс – оксидная зона; ВО – вторичный отстойник;
 СВ – подача сточной воды; ОВ – очищенная вода; R_1 – рециркуляция активного ила

Это наиболее простая и дешевая схема удаления соединений азота и фосфора, но ее применение возможно только для сточных вод промышленного состава с высокими нагрузками на активный ил по углеродсодержащей органике, умеренной нитрификации и при содержании больших концентраций фосфорсодержащих соединений. Для низконагружаемых сооружений устраивается дополнительная аноксидная стадия с целью более эффективно удаления азота нитратов и нитритов.

Схема А/О предусматривает дефосфотирование с анаэробной зоной. Для улучшения хода очистки аэротенк делится на ряд секций. Пребывание в анаэробных и затем в аэробных условиях приводит к повышению содержания фосфора в активном иле, при удалении избыточного ила происходит выведение фосфора из системы.

Схема так называемого «модифицированного процесса Людчака-Этингера» приведена на рисунке 3.34. Заключается в том, что позволяет увеличить эффективность денитрификации путем устройства внутренней рециркуляции путем возвращения иловой смеси из конца нитрификатора в начало денитрификатора.

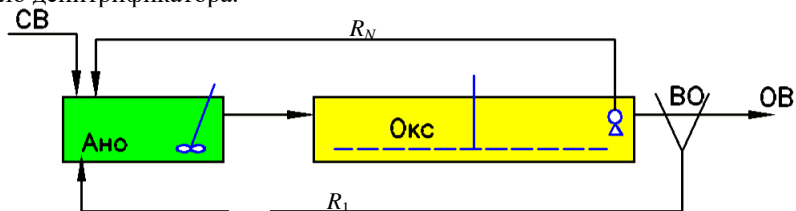


Рисунок 3.34 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод Людчака-Этингера с предварительной денитрификацией: (обозначения см. на рисунке 3.33) R_N – рециркуляция нитрат содержащей иловой смеси

В аноксидную зону подаются сточная вода, поступающая на биологическую очистку, и рециркуляционный активный ил из вторичных отстойников, также из анаэробной зоны предусматривается рецикл нитратов и нитритов с возвратной иловой смесью. Далее вода поступает в оксидную зону, где

происходит доокисление углеродсодержащей органики и окисление азотсодержащих органических веществ, интенсивное потребление фосфора бактериями активного ила. Процесс нитрификации осуществляется в результате жизнедеятельности и функциональной активности нитрифицирующих бактерий.

Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод АА/О (рисунок 3.35) предусматривает дефосфотирование и денитрификацию. Кроме анаэробной зоны в схеме появляется аноксидная зона. Так как введена денитрификация, аэробная зона рассчитывается на глубокую нитрификацию. Из последней секции аэротенка организуется возврат иловой смеси в начало аноксидной зоны для циркуляции нитратов.

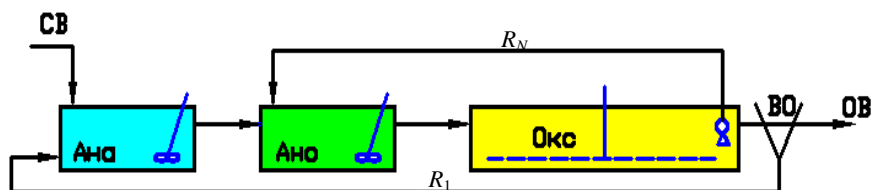


Рисунок 3.35 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод АА/О: (обозначения см. на рисунках 3.33, 3.34)

Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод с чередующейся денитрификацией приведена на рисунке 3.36.

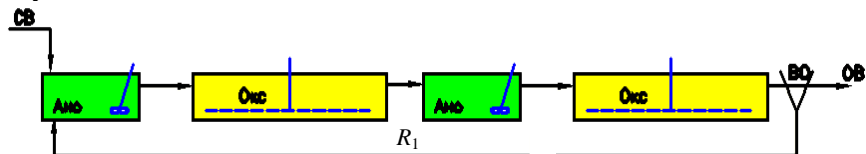


Рисунок 3.36 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод с чередующейся денитрификацией: (обозначения см. на рисунке 3.33)

Очистка сточных вод начинается с аноксидной стадии, в которой осуществляется денитрификация. В эту зону подаются сточные воды, используемые для денитрификации как источник углерода. Затем следует аэробная стадия, где происходит снижение содержания органических загрязняющих веществ в очищаемых сточных водах, и нитрификация. Смесь ила из этой зоны, содержащая нитраты, подается в следующую аноксидную зону денитрификации. Процесс заканчивается аэробной зоной, в которой осуществляется нитрификация и частичная дефосфотация.

Технологическая схема биологической дефосфатации сточных вод – процесс *UCT* (*University of Cape Town*) (рисунок 3.37) имеет следующие особенности: возвратный активный ил перекачивается из вторичных отстойников в аноксидную зону, при этом кроме нитратного рецикла осуществляется внутренняя рециркуляция ила из аноксидной зоны в анаэробную, что позволяет избежать попадания свободного и связанного кислорода (нитратов) в анаэробную зону [12].

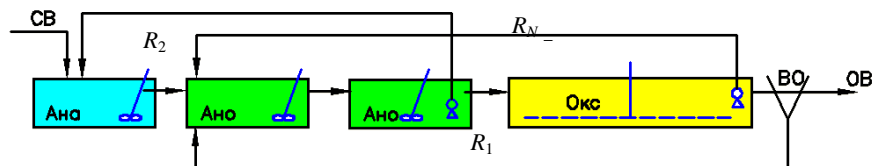


Рисунок 3.37 – Технологическая схема *UCT*-процесса: (обозначения см. на рисунках 3.33, 3.34); R_2 – рециркуляция иловой смеси

Эффективность удаления органических загрязняющих веществ, характеризуемых показателем БПК₅, в этой схеме составляет 95 %, общего азота – 80 %, общего фосфора – до 70 %. Общее время пребывания сточных вод в сооружениях биологической очистки составляет 15–20 часов [13].

Схема *UCT*-процесса предполагает удаление нитратов из циркулирующего активного ила, так как нитраты и фосфаты оказывают взаимное ингибирующее воздействие в анаэробной зоне. Схема была улучшена за счет деления аноксидной зоны на две ячейки.

Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод *JNB modification* приведена на рисунке 3.38. В ее основе лежат основные закономерности протекания процессов денитрификации и дефосфатирования сточных вод, при этом удаление азота предполагается путем перевода его в газообразную форму, удаление фосфора – накоплением его соединений в клетке активного ила с последующим выводом из системы с избыточным активным илом. Сточная вода поступает в первую аноксидную зону. В эту зону также подается циркулирующий активный ил. Данная зона предназначена для удаления нитратов и нитритов из иловой смеси и обеспечения в последующей зоне, максимально анаэробных условий, для стимулирования вытеснения фосфора из клеток ила в воду. Вторая аноксидная зона является денитрификатором, в которой происходит денитрификация нитратов, подаваемых из конца аэробной (оксидной) зоны биоблока. Циркулирующий активный ил подается в аноксидную зону, расположенную до анаэробной части. В первой аноксидной зоне нитраты восстанавливаются за счет накопленных в иле загрязнений и не мешают высвобождению фосфатов.

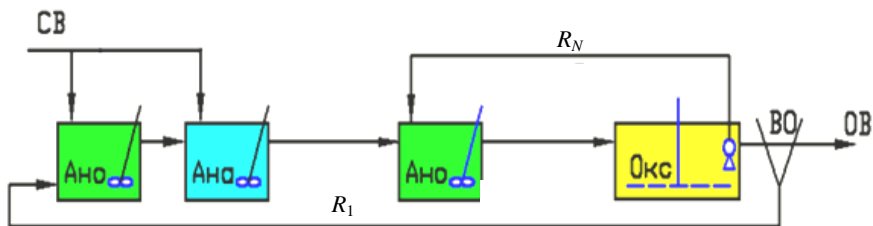


Рисунок 3.38 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод *JHBmodification*: (обозначения см. на рисунках 3.33, 3.34)

Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод *Phoredoxmodification* (рисунок 3.39) в сравнении со схемой АА/О более гибкая. Сточные воды дробно подаются в первые по ходу отсеки – в анаэробном частично восстанавливаются нитраты, в первом анаэробном отсеке – часть оставшихся нитратов восстанавливаются и создаются условия, близкие к анаэробным, в заключительном анаэробном отсеке осуществляется глубокое вытеснение фосфора. Изъятие общего фосфора может достигать 95 % [13].

Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод «*Uni*» процесса Денифо приведена на рисунке 3.40. Она рекомендуется для вновь создаваемых КОС, так как является более гибкой адаптивной схемой. Из теории сложных систем известно, что адаптивная система, при прочих равных условиях, обеспечивает лучшие результаты обработки по сравнению со статичными системами и системами с программным или ручным управлением.

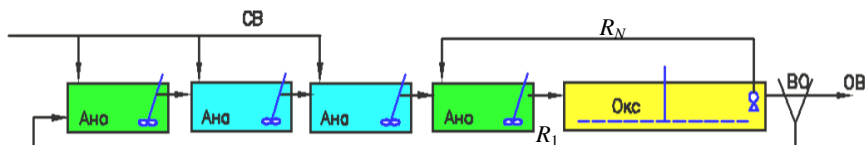


Рисунок 3.39 – Технологическая схема биологического удаления соединений азота и фосфора из сточных вод *Phoredox modification*: (обозначения см. на рисунках 3.33, 3.34)

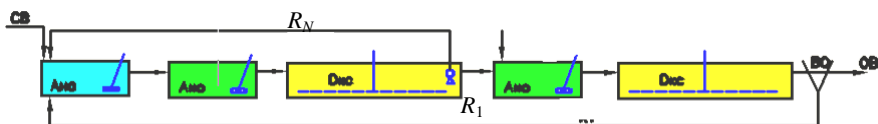


Рисунок 3.40 – Универсальная схема «*Uni*» процесса Денифо: (обозначения см. на рисунках 3.33, 3.34)

В этой схеме циркулирующий активный ил R_i впускается дробно в предденитрификатор (ПД) и в основной денитрификатор (Ано) в зависимости от содержания нитратов в иле. Для денитрификации ила в ПД подается часть сточных вод, в соответствии с потребностью в необходимом количестве органических веществ для денитрификации (8–10 мг БПК₅ на 1 мг азота нитратов). Остальная часть сточных вод направляется в анаэробный отсек для усиления вытеснения фосфора из клеток бактерий. Рециркуляция нитратсодержащей иловой смеси R_N включается периодически при излишнем накоплении нитратов в оксидной зоне, либо постоянно. В системе возможно использование реагентов для углубления очистки сточных вод от фосфора.

Схема *Uni* в случае применения современных компьютерных комплексов мониторинга и контроля параметров сточных вод и очищенной воды в режиме реального времени позволяет реализовать адаптивную систему очистки, оперативно реагирующую на изменения внешних и внутренних параметров.

Поступающие от комплекса мониторинга и контроля параметров управляющие сигналы могут быть использованы для переключения режимов схемы *Uni*, переброски потоков сточных вод, возвратных вод, циркулирующего активного ила, а также определения дозы реагента.

Данная технологическая схема позволяет достигнуть снижения концентрации общего азота до 8–10 мг/дм³, аммонийного азота до 0,3–0,5 мг/дм³ и общего фосфора до 0,8–1,5 мг/дм³.

Окончательный выбор схемы осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов.

3.3.7 Расчет вместимости емкостных сооружений с активным илом

Вместимость аэротенков и других емкостных сооружений с активным илом определяется в зависимости от минимального возраста активного ила с учетом принятой дозы активного ила в иловой смеси и уровня допустимой нагрузки по БПК₅ на активный ил.

При очистке сточных вод в системах с активным илом с целью удаления биохимически разлагаемых органических веществ без нитрификации вместимость аэротенков допускается определять с учетом массы органических загрязняющих веществ, максимального часового расхода сточных вод, требуемой степени очистки, допустимой нагрузки на активный ил, дозы активного ила в смеси.

Концентрация загрязняющих веществ в поступающей на аэротенки сточной воде принимается с учетом ее снижения на предыдущих стадиях очистки. При этом необходимо учитывать концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в возвратных потоках от сооружений по обработке осадка.

Объем технологических сооружений с активным илом принимается равным суммарному объему технологических сооружений, предназначенных

для деструкции органических веществ, нитрификации и денитрификации и определяется по формуле

$$V = \frac{t_{TS} P_i}{a_i}, \quad (3.16)$$

где t_{TS} – возраст активного ила, сут;

P_i – прирост активного ила, кг/сут;

a_i – доза ила, мг/дм³, принимается по таблице 3.4 в зависимости от цели обработки.

Объем анаэробной емкости для удаления фосфора определяется отдельно:

$$W_{\text{анаэр}} = t_{\text{анаэр}} q_{\text{max ч}} (1 + R), \quad (3.17)$$

где $t_{\text{анаэр}}$ – время контакта, ч, принимается равным 0,5–0,75 ч [1];

$q_{\text{max ч}}$ – максимальный часовой расход, м³/ч;

R – степень рециркуляции активного ила.

Объем технологических сооружений с активным илом должен обеспечивать нагрузку на активный ил, не превышающую указанную в таблице 3.9.

Концентрация нитратного азота, подлежащего удалению, мг/дм³, определяется по балансовому уравнению

$$C_{\text{NO}_3D} = C_{\text{Nen}} - C_{\text{orgNex}} - C_{\text{NH}_4\text{ex}} - C_{\text{NO}_4\text{ex}} - C_{\text{orgNBM}}, \quad (3.18)$$

где C_{Nen} – содержание общего азота в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

C_{orgNex} – содержание азота органических веществ в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³, при очистке бытовых сточных вод, принимается равной 2 мг/дм³ [24];

$C_{\text{NH}_4\text{ex}}$ – содержание аммонийного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³, принимается по таблице А.1;

$C_{\text{NO}_3\text{ex}}$ – содержание нитратного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, мг/дм³;

X_{orgNBM} – азот органических веществ, поступающий в биомассу активного ила, мг/дм³, назначается в пределах от 0,04 до 0,05 БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку.

Содержание нитратного азота в сточной воде, отводимой после вторичных отстойников, определяется по формуле

$$C_{\text{NO}_3\text{ex}} = C_{\text{Nex}} - C_{\text{orgNex}} - C_{\text{NH}_4\text{ex}}, \quad (3.19)$$

где C_{Nex} – содержание общего азота в сточной воде после очистки, мг/дм³, принимается согласно требованиям сброса.

Отношение объема денитрификатора к общему объему технологических емкостных биологических сооружений с активным илом принимается в пределах от 0,2 до 0,5 в зависимости от отношения концентрации азота нитратов, подлежащего удалению при денитрификации, к величине БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Отношение объема денитрификатора к общему объему технологических емкостных сооружений с активным илом при температуре от 10 до 12 °С [24]

V_D/V	C_{NO_3D} / L_{en}		
	Предварительная денитрификация и способы, аналогичные предварительной денитрификации	Чередующаяся денитрификация	Параллельная и периодическая денитрификация
0,2	0,11	0,085	0,06
0,3	0,13	0,110	0,09
0,4	0,14	0,130	0,12
0,5	0,15	0,150	0,15

В случае если $C_{NO_3D} / L_{en} > 0,15$, необходимо:

- предусматривать мероприятия по снижению содержания соединений азота в сточной воде, поступающей на сооружения биологической очистки, в том числе посредством отдельной обработки иловой воды;
- рассмотреть возможность снижения степени осветления воды при первичном отстаивании и повышения БПК₅ осветленной сточной воды, поступающей на биологическую очистку.

При невозможности снижения содержания соединений азота в сточной воде, поступающей на очистку, необходимо предусматривать дозирование внешнего субстрата. Дозу внешнего субстрата следует принимать 5 кг ХПК на 1 кг нитратного азота, подлежащего денитрификации.

Окончательный выбор вида субстрата и отработка режима его дозирования производится при наладке и последующей эксплуатации очистных сооружений. При использовании предварительной, каскадной и параллельной денитрификации подача субстрата предусматривается в сточную воду, поступающую на сооружения биологической очистки. Для периодической и чередующейся денитрификации, а также отдельных многоступенчатых схем денитрификации субстрат необходимо дозировать только во время фазы денитрификации.

При необходимости дозирования внешнего субстрата для обеспечения требуемого значения отношения C_{NO_3D} / L_{en} значения ХПК для субстратов следует принимать на основании лабораторных испытаний или с учетом рекомендаций СН [24].

Минимальный возраст активного ила t_{TS} , сут, в системах биологической очистки определяется в зависимости от цели обработки сточной воды, нагрузки по органическим загрязнителям и расчетной температуры сточной воды по таблицам 3.9 и 3.13. При отсутствии данных по минимальной температуре иловой смеси расчетную температуру принимается равной 10 °С.

Таблица 3.13 – Минимальный возраст активного ила

Вид очистки	Суточная нагрузка по органическим загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кг БПК ₅ /сут						
	до 1200		свыше 1200 до 6000 включ.		свыше 6000		
	расчетная температура, °С						
	10	12	10	12	10	12	
Без нитрификации	5,0		5,0–4,0		4,0		
С нитрификацией	10,0	8,2	10,0–8,0	8,2–6,6	8,0	6,6	
С нитрификацией и денитрификацией при отношении объема денитрификатора к общему объему емкостных сооружений с активным илом:	0,2	12,5	10,3	12,5–10,0	10,3–8,3	10,0	8,3
	0,3	14,3	11,7	14,3–11,4	11,7–9,4	11,4	9,4
	0,4	16,7	13,7	16,7–13,3	13,7–11,0	13,3	11,0
	0,5	20,0	16,4	20,0–16,4	16,4–13,2	16,0	13,2
	Стабилизация ила, включая нитрификацию и денитрификацию	25,0		–		–	

Суточная нагрузка по органическим загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кгБПК₅/сут, определяется по формуле

$$B_d = \frac{L_{en} Q_{cp,сут}}{1000} \quad (3.20)$$

Для систем с нитрификацией при значениях температур более 12 °С, возраст ила определяется по формуле

$$t_{TS}^N = 3,4K_3 \cdot 1,103^{(15-T)}, \quad (3.21)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий колебания концентрации соединений азота и величины рН в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки;

T – расчетная температура сточных вод, °С.

Для систем с нитрификацией и денитрификацией для температуры более 12 °С возраст ила

$$t_{TS}^{N+D} = 3,4K_3 \cdot 1,103^{(15-T)} \frac{1}{1 - V_D / (V_D + V_N)}, \quad (3.22)$$

где V_D – объем денитрификатора, м³;

V_N – объем нитрификатора, м³.

Для сооружений с нагрузкой по БПК₅ до 1200 кг/сут значение K_3 принимается 1,8; для сооружений с нагрузкой по БПК₅ более 6000 кг/сут – 1,45, для сооружений с нагрузкой по БПК₅ в интервале от 1200 до 6000 кг/сут – интерполяцией.

Прирост активного ила, кг/сут,

$$P_i = P_c + P_p, \quad (3.23)$$

где P_c – прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ, кг/сут;

P_p – прирост активного ила, получаемый в процессе биологического удаления фосфора, кг/сут, принимается исходя из продукции 3 кг активного ила на 1 кг фосфора, подлежащего удалению.

Прирост активного ила, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, кг/кг БПК₅, при возрасте активного ила от 4 до 25 сут и температуре иловой смеси 10–12 °С, принимается по таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ

C_{en}/L_{en}	Возраст активного ила, сут					
	4	8	10	15	20	25
0,4	0,79	0,69	0,65	0,59	0,56	0,53
0,6	0,91	0,81	0,77	0,71	0,68	0,65
0,8	1,03	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77
1,0	1,15	1,05	1,01	0,95	0,92	0,89
1,2	1,27	1,17	1,13	1,07	1,04	1,01

Для других условий прирост активного ила, кг/сут, полученный в процессе биологической деструкции органических веществ, определяется по формуле

$$P_c = \frac{Q_{расч} L_{en}}{1000} \left(0,75 + 0,6 \frac{C_{en}}{L_{en}} - \frac{0,102 t_{TS} 1,072^{(15-T)}}{1 + 0,17 t_{TS} 1,072^{(15-T)}} \right), \quad (3.24)$$

где $Q_{расч}$ – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

L_{en} , C_{en} – концентрация соответственно БПК₅ и взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³;

t_{TS} – возраст активного ила, сут;

T – температура иловой смеси, °С.

Прирост активного ила, получаемый в процессе биологического удаления фосфора, кг/сут,

$$P_p = 3B_d^p, \quad (3.25)$$

где B_d^p – суточная нагрузка по фосфатным загрязняющим веществам сооружений биологической очистки, кг/сут,

$$B_d^p = \frac{X_{Pe} Q_{расч}}{1000}, \quad (3.26)$$

X_{Pe} – концентрация соединений фосфора, удаляемых в процессе биологической очистки, мг/дм³,

$$X_{Pe} = C_{Pen} - C_{Pex} - X_{PBM} - X_{PBio}, \quad (3.27)$$

C_{Pen} – концентрация фосфора в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/дм³;

C_{Pex} – концентрация фосфора в сточной воде после вторичных отстойников, мг/дм³, принимается в соответствии с требованиями сброса сточных вод;

X_{PBM} – концентрация фосфора, необходимая для ассимиляции гетеротрофными микроорганизмами активного ила, мг/дм³, принимается равной $0,01L_{en}$;

X_{PBio} – концентрация фосфора, удаляемого биологическим методом, мг/дм³.

Требуемая степень рециркуляции возвратного активного ила из вторичных отстойников и иловой смеси из зоны нитрификации в денитрификатор при предварительной денитрификации

$$R_F = C_{NH_4N} / C_{NO_3ex} - 1. \quad (3.28)$$

Длительность цикла обработки, ч, включающей время на нитрификацию и денитрификацию сточной воды

$$t_T = \frac{V}{q_{max ч}} \cdot \frac{C_{NO_3ex}}{C_{NH_4N}}. \quad (3.29)$$

3.3.8 Конструкции аэротенков

Аэротенки с отдельными сооружениями характеризуются тем, что иловая смесь из них выводится и направляется в отстойные сооружения, из которых возврат циркуляционного активного ила осуществляется принудительно насосными установками или эрлифтами.

Данные конструкции аэротенков широко применяемые для крупных, средних и небольших очистных сооружений, представляют собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на два-четыре коридора продольными перегородками, которые обеспечивают последовательное протекание по ним иловой смеси (рисунок 3.41). Коридорное устройство аэротенков позволяет легко решать вопросы подвода очищаемых сточных вод и ила в аэротенк и отвода из него иловой смеси независимо от технологической схемы работы аэротенка. Ширина коридора может составлять 4,5; 6 и 9 м и более при глубине до 6 м. Длина аэротенка в зависимости от пропускной способности очистных сооружений может изменяться от нескольких десятков до сотен метров.

На рисунке 3.41 приведен четырехкоридорный аэротенк, который работает по принципу аэротенка-вытеснителя как с регенерацией ила, так и без регенерации. Четырехкоридорные аэротенки позволяют отводить под регенераторы от одного до трех коридоров, т. е. аэротенки могут работать с 25, 50, 75%-ной регенерацией.

Для аэрации иловой смеси воздух от воздуховодов по системе воздуховодов через воздушные стояки подается в аэраторы, располагаемые у днища аэротенка.

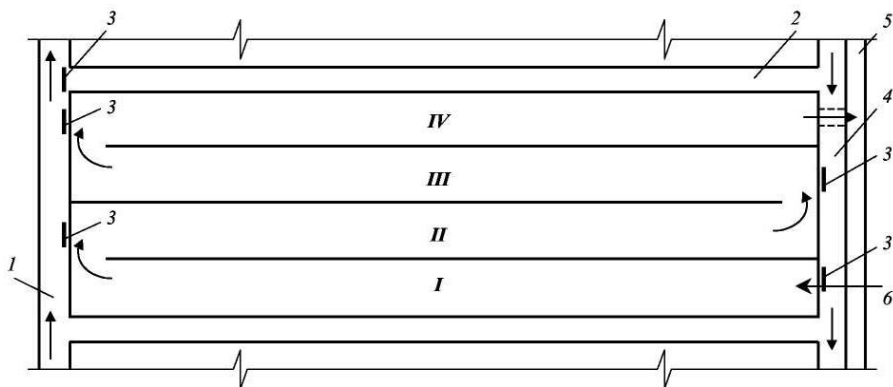


Рисунок 3.41 – План четырехкоридорного аэротенка:

1 – верхний распределительный канал; 2 – средний канал; 3 – щитовой затвор (шибер);
4 – нижний распределительный канал; 5 – канал сбора очищенной воды; 6 – циркуляционный активный ил; I...IV – коридоры аэротенка

Если отстойные сооружения имеют прямоугольную в плане форму (горизонтальные отстойники), то может устраиваться единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками, что позволяет до минимума свести длину связывающих эти сооружения коммуникаций.

Аэротенки-отстойники – комбинированные сооружения, в которых в одном объеме совмещены зоны аэрации и отстаивания. В них в различных вариантах сочетаются процессы биокоагуляции, аэробного окисления и осветления. В зависимости от сочетания этих процессов аэротенки носят различные названия: *аэротенк-отстойник*, *оксиконтакт*, *аэроокислитель*, *аэроакселатор*, *оксидатор*, *циклеитор*. Все они имеют две зоны:

- *аэрационную* – часть такого аэротенка, в которой осуществляется аэрация иловой смеси;
- *отстойную* – другая часть аэротенка, в которой осуществляется отстаивание.

В *оксиконтакте* (рисунок 3.42) с обеих сторон центральной аэрационной зоны расположены отстойные зоны, отделенные перегородками, которые имеют переливные окна в верхней части и продольные щели – в нижней части. Через эти отверстия активный ил осаждается и циркулирует в аэротенке. Осветленная сточная вода подается в аэрационную часть (аэротенк), из которой иловая смесь направляется в отстойную часть (вторичный отстойник). Распределение воздуха производится равномерно по всей площади аэротенка с помощью аэраторов, вмонтированных в днище. Вследствие аэрации происходит подсос (возврат) активного ила, отделившегося в отстойной части. Глубина сооружения около 4 м, длина 15–70 м (в зависимости от требуемой пропускной способности). Циркуляционный расход активного ила может достигать 200–300 % расчетного расхода сточной воды.

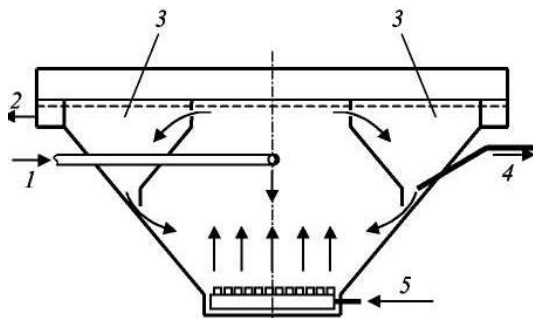


Рисунок 3.42 – Оксиконтакт:

- 1 – выпуск сточной воды; 2 – отвод очищенной воды;
- 3 – отстойная зона; 4 – удаление избыточного активного ила;
- 5 – подача воздуха

Аэротенки-осветлители – прямоугольные в плане резервуары с наклонными (рисунок 3.43, а) или вертикальными боковыми стенками (рисунок 3.43, б). Что позволяет уменьшить общий объем сооружений биологической очистки за счет сокращения продолжительности аэрации до 3–5 ч и исключения вторичных отстойников.

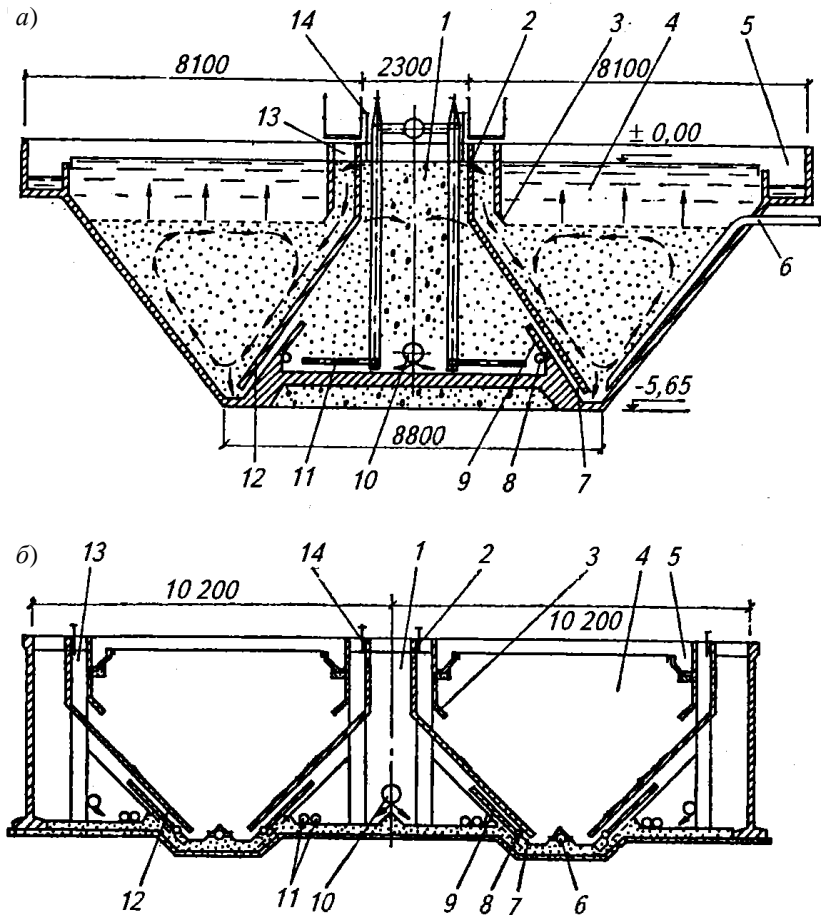


Рисунок 3.43 – Аэротенк-осветлитель

- а – с наклонными боковыми стенками; б – с вертикальными;
- 1 – зона аэрации; 2 – переливные окна; 3 – козырек; 4 – зона осветления;
- 5 – лоток; 6 – трубопровод избыточного ила; 7 – циркуляционная щель;
- 8 – трубопровод подачи воздуха в щель;
- 9 – зуб; 10 – перфорированный трубопровод подачи сточной воды;
- 11 – аэратор; 12 – перегородка; 13 – зона дегазации; 14 – шибер

В аэротенках-осветлителях с наклонными боковыми стенками зона аэрации находится в центральной части сооружения между симметрично расположенными по периферии зонами освещения, а при вертикальных боковых стенках – зоны освещения с обеих сторон ограничены зонами аэрации. Зоны освещения отделены от зон аэрации наклонными, не доходящими до дна резервуара перегородками с переливными окнами в верхней части для подачи иловой смеси из зоны аэрации в зону освещения. В нижней части разделительные перегородки образуют сплошную щель, через которую возвратный ил подсасывается из зоны освещения в зону аэрации. Между зонами осуществляется 6–12кратная степень рециркуляции смеси, регулируемая изменением площади сечения переливных окон. Побудителем рециркуляции является система аэрации, обеспечивающая перепад гидростатического давления между зонами аэрации и освещения. Воздух подается в зону аэрации через перфорированные трубки или через мелкопузырчатые диффузоры.

Предварительно отстоянная сточная вода поступает в сооружение через перфорированный трубопровод, расположенный у днища по всей длине зоны аэрации, смешивается с активным илом и подвергается аэрации.

Аэрированная иловая смесь через переливные окна направляется вниз вдоль разделительных перегородок и поступает в зоны освещения, где разделяется на два потока. Один поток (рециркулирующий) через донные щели возвращается в зону аэрации, другой направляется вверх, создавая взвешенный слой активного ила. Очищенная вода, пройдя взвешенный слой ила, собирается водоотводящими лотками. Избыточный ил из нижней части взвешенного слоя удаляется по трубам, размещенным равномерно по всей длине сооружения.

Взвешенный слой ила в зоне освещения, работающий как фильтр и реактор окисления, характеризуется однородностью и устойчивостью, что обеспечивается формой зоны освещения, которая способствует вихревой направленной циркуляции потоков во всем объеме слоя. Оптимальный кислородный режим поддерживается за счет интенсивного обмена ила между зонами взвешенного осадка и аэрации во взвешенном слое.

Реакционный объем в аэротенке-осветлителе складывается из объемов зон аэрации, дегазации и взвешенного слоя ила, т. е. объема, занимаемого илом в сооружении.

Благодаря внутренней циркуляции активного ила между зонами аэрации и отстаивания во всех конструкциях аэротенков-отстойников не требуется внешней системы возврата ила, что обеспечивает компактность сооружения. Аэротенки-отстойники могут применяться при производительности очистных сооружений до 50 тыс. м³/сут, но в Республике Беларусь данные сооружения не получили распространения и при проектировании и реконструкции современных комплексов очистных сооружений не применяются.

3.3.9 Циркуляционные окислительные каналы

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) представляют собой замкнутый канал трапецеидального или прямоугольного сечения в плане овальной формы, по которому циркулирует иловая смесь со скоростью 0,25–0,3 м/с. Движение иловой смеси обеспечивается горизонтальными цилиндрическими аэраторами, устанавливаемыми поперек канала, которые предотвращают осаждение активного ила.

ЦОК работает по принципу аэротенков продленной аэрации, как правило, без первичного отстаивания. Средняя длительность пребывания ила в нем составляет около 40 сут, что позволяет обеспечить значительную его минерализацию. **ЦОК** бывают:

– *периодического действия* без вторичного отстаивания (рисунок 3.44, а) – разделение иловой смеси происходит в самом канале при выключенных аэраторах. Канал работает то как аэротенк, то как вторичный отстойник. Для бесперебойной работы сооружения требуется устройство, как минимум, двух каналов: когда один канал работает как аэротенк и принимает сточную воду на очистку, второй канал работает как вторичный отстойник. После необходимой длительности отстаивания очищенные сточные воды выпускается, и в него начинает подаваться сточная вода на очистку, и канал работает как аэротенк, тогда как второй канал начинает работать как вторичный отстойник.

– *непрерывного действия* (рисунок 3.44, б) – для разделения иловой смеси применяются вторичные отстойники.

Избыточный активный ил в обеих схемах направляется на иловые площадки.

В настоящее время в ЦОК применяются механические аэраторы с вертикальной осью вращения. Аэратор устанавливается в месте закругления канала с устройством перегородки таким образом, чтобы весь формируемый аэратором поток направлялся вдоль канала. Такой ЦОК получил название «Карусель» и широко применяется для обслуживания населенных мест с числом жителей 8–20 тыс. Благодаря большой окислительной мощности и перекачивающей способности аэратора глубина канала увеличена с традиционных 0,8–1,0 м до 2,5–4,0 м, что позволило сократить необходимую площадь сооружения.

3.3.10 Окситенки

Окситенки – сооружения, осуществляющие биологическую очистку сточных вод с использованием кислорода вместо воздуха.

Применение технического кислорода обеспечивает поддержание концентрации растворенного кислорода 5–10 мг/л вместо обычно принятой для аэротенков концентрации 1,5–2 мг/л, что позволяет значительно повысить дозу активного ила в сооружении и интенсифицировать процессы нитрифи-

кации аммонийного азота. Увеличение концентрации растворенного кислорода позволяет повысить окислительную мощность окситенков в 5–6 раз по сравнению с аэротенками и снизить капитальные затраты в 1,5–2 раза, а эксплуатационные – в 2,5–3 раза.

Окситенки могут использоваться как самостоятельные сооружения биологической очистки или в двухступенчатой схеме совместно с аэротенками. для очистки высококонцентрированных сточных вод ($\text{БПК}_5 > 1000 \text{ мг/л}$).

Окситенки бывают двух конструкций:

– *комбинированный окситенк-смеситель* работает по принципу аэротенка-отстойника и представляет собой круглый в плане резервуар с цилиндрической перегородкой, разделяющей его на зону аэрации в центре и илоотделитель по периферии.

Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием с установленным сверху электроприводом механического аэратора, илоотделитель имеет перемешивающий механизм со скребком снизу. Циркуляционный активный ил поступает в зону аэрации через окна внизу. Очищенная вода дополнительно осветляется, проходя через взвешенный слой активного ила;

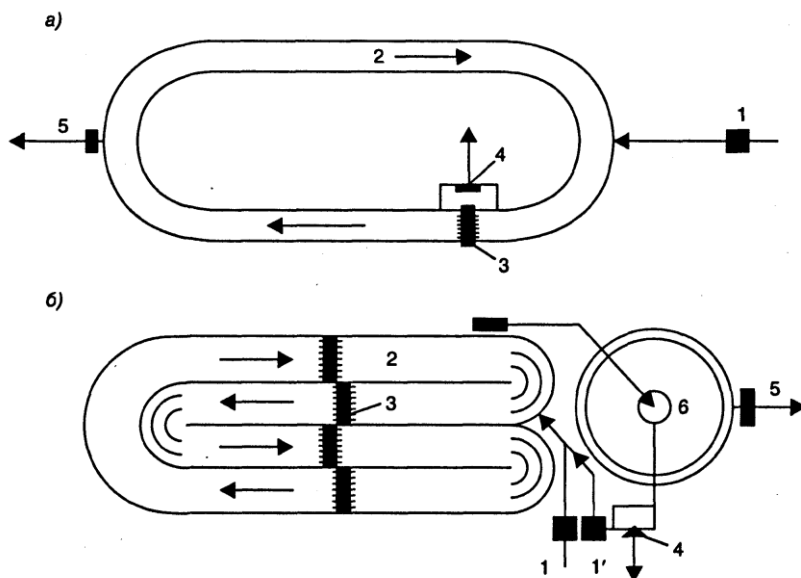


Рисунок 3.44 – Циркуляционный окислительный канал [9]:

a – без вторичного отстойника; *б* – со вторичным отстойником;

1 – насосная станция; 1' – то же возврата ила в ЦОК; 2 – ЦОК; 3 – горизонтальный аэратор;

4 – удаление избыточного активного ила; 5 – отведение очищенной воды; 6 – вторичный отстойник

– *секционированный окситенк-вытеснитель* с отдельным вторичным отстойником (рисунок 3.45) – это герметически перекрытый прямоугольный резервуар, который поделен на секции поперечными перегородками с отверстиями для пропуска иловой смеси и газа.

Доза активного ила в окситенках составляет 6–10 г/л, период аэрации 2,5–3 ч, эффективность использования кислорода – до 95 %.

Окситенки оборудуются системой автоматизации для подачи кислорода с целью обеспечить заданную его концентрацию в иловой смеси при любых изменениях состава и расхода сточных вод.

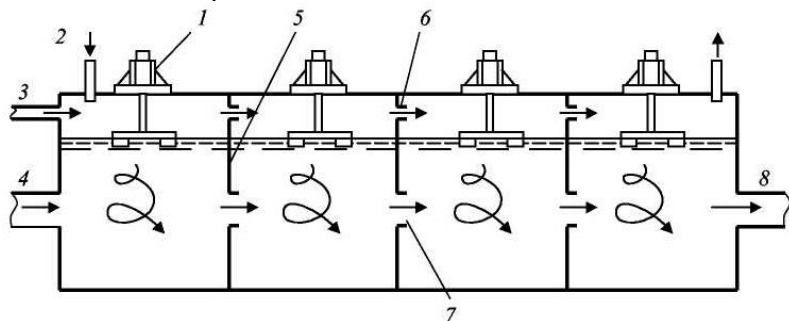


Рисунок 3.45 – Секционированный окситенк [9]:

1 – аэратор; 2 – подача кислорода; 3 – подача циркуляционного ила; 4 – сточная вода на очистку; 5 – перегородка; 6 – отверстие для пропуска газа; 7 – отверстие для пропуска иловой смеси; 8 – отвод иловой смеси

Окситенки могут применяться при условии подачи технического кислорода от кислородных установок промышленных предприятий (например, химические, коксохимические, нефтехимические производства и др.) и расходах свыше 50 тыс. м³/сут, причем при строительстве новых сооружений целесообразно применять комбинированный окситенк – при реконструкции существующих станций аэрации – секционированный.

Окситенки не получили распространения из-за высоких эксплуатационных расходов, связанных с использованием технического кислорода вместо воздуха.

3.3.11 Системы аэрации иловой смеси в аэротенках

Биологическое окисление загрязняющих веществ, в том числе азота аммонийного осуществляется в аэробных условиях вследствие жизнедеятельности микроорганизмов активного ила.

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).

Системы подачи воздуха являются важнейшими элементами любых сооружений биологической очистки с активным илом. От их работы зависит как обеспечение требуемого качества очистки, так и экономические показатели процесса. В состав современных систем подачи воздуха входят воздуходувки, системы управления ими, воздухопроводы, КИП, управляющая и запорная арматура и аэрационные системы (совокупность аэраторов и систем подвода воздуха к ним).

Тип аэраторов в технологических емкостях с активным илом выбирается на основании технико-экономического расчета с учетом следующих параметров: потеря давления, размер пузырьков воздуха, устойчивость к засорению, срок службы, простота обслуживания.

Аэраторы должны обеспечивать требуемый кислородный режим и интенсивность перемешивания активного ила.

Аэрация сточных вод может осуществляться пневматическими, механическими или комбинированными аэраторами. Воздух поступает в жидкость в виде пузырьков, которые всплывают и при движении через слой воды передают в нее кислород. Чем меньше размер пузырьков, тем большее количество кислорода переходит в жидкость из воздуха и, следовательно, тем ниже затраты энергии на работу аэрационного оборудования. Для получения мелких пузырьков требуется больше затрат энергии на диспергирование воздуха.

Пневматическая система аэрации заключается в подаче воздуха под поверхность воды и в зависимости от типа применяемого аэратора бывает мелкопузырчатая, среднепузырчатая, крупнопузырчатая.

К *крупнопузырчатым аэраторам* относится система «крупных пузырей», в которой аэраторами являются трубы диаметром 30–50 мм с открытыми концами, опущенные вертикально вниз на глубину 0,5 м от дна аэротенка. В такой системе используется кислород не только сжатого, но и в большей мере атмосферного воздуха, с которым иловая смесь усиленно контактирует за счет интенсивного обновления поверхности жидкости в аэротенке. Эта система не получила распространения, поскольку не обеспечивает надежное и интенсивное перемешивание иловой смеси в глубинных аэротенках и отличается низкой эффективностью использования подаваемого воздуха.

Мелкопузырчатая и среднепузырчатая аэрация более выгодны не только по окислительной способности, но и с точки зрения перемешивания среды. Оптимальная глубина погружения аэратора, дающего мелкие пузыри (диаметром 2,0–2,2 мм), составляет около 3,6 м, причем в момент образования пузырька переносится в жидкость 25 % от общего количества растворяемого кислорода.

К *среднепузырчатым аэраторам* относятся дырчатые трубы с отверстиями диаметром 3–4 мм, укладываемые строго горизонтально у дна аэротенка.

Недостатком использования стальных перфорированных труб является засорение отверстий ржавчиной с внутренней стороны и активным илом – с наружной, и, как следствие, уменьшение подачи воздуха. К числу недостатков также следует отнести присущее всем среднепузырчатым аэраторам сравнительно невысокое использование воздуха.

Характерным примером среднепузырчатой аэрации может служить низконапорная аэрация. При этом типе аэрации нагнетание воздуха в аэрационные устройства производится вентиляторами высокого давления.

Системы с низконапорной аэрацией были распространены в отечественной практике главным образом на станциях малой и средней производительности.

Современные *мелкопузырчатые аэрационные системы* состоят:

- из источника сжатого воздуха;
- трубопроводной арматуры воздухораспределения;
- мелкопузырчатых аэрационных элементов;
- системы регулирования (управляемые электромагнитные или моторные краны).

К производителям мелкопузырчатых аэраторов относятся ООО «БИО-КСИ», FORTEX-AGS (Чехия), НПФ «Эжотон», ЗАО «Креал», НПФ «ЭТЕК ЛТД», ОАО «МАЙ ПРОЕКТ», ООО «Полиатр», ООО «Гефлис».

В последние годы стали применяться пластмассовые пористые аэраторы как в виде отдельных аэрационных труб длиной 2 м, соединенных между собой при помощи соединительных муфт на резьбе, так и в виде тарельчатых аэраторов, монтируемых на воздуховоде через определенные расстояния на резьбовом соединении. Аэрационные трубы изготавливаются из обычных пластмассовых труб диаметром 120–150 мм с продольными прорезями для выхода воздуха, поверхность которых путем напыления полимерного материала покрывается пористым слоем, который и обеспечивает образование воздушных пузырьков диаметром 2–3 мм в процессе аэрации.

В тарельчатых аэраторах могут применяться диспергирующие воздух материалы из пористо-волокнутого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой.

ОАО «МАЙ ПРОЕКТ», производит дисковые мембранные аэраторы АКВА-ПРО-М (рисунок 3.46), АКВА-ПЛАСТ (рисунок 3.47), АКВА-ТОР (рисунок 3.48).

Дисковые аэраторы АКВА-ТОР обеспечивают эффективное насыщение сточных вод кислородом и перемешивание ила. Интенсивность перемешивания иловой смеси увеличивается за счет дополнительного эрлифтного эффекта, создаваемого торообразной формой. Такая конструкция предотвращает эффект «схлопывания» воздушного факела, который присутствует у

традиционных дисковых аэраторов. Торообразная конструкция приводит к повышению коэффициента массопередачи на 15–20 % по сравнению с аэратором, имеющим такую же по площади диспергирующую поверхность, но без центрального отверстия. Схема движения иловой смеси при использовании торообразного аэратора приведена на рисунке 3.49.



Рисунок 3.46 – Трубчатый аэратор АКВА-ПРО-М



Рисунок 3.47 – Дисковый мембранный аэратор АКВА-ПЛАСТ



Рисунок 3.48 – Аэраторы АКВА-ТОР

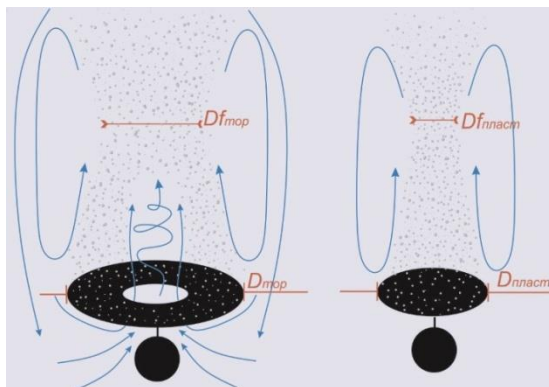


Рисунок 3.49 – Схема движения иловой смеси при использовании торообразного (слева) и дискового (справа) аэратора

Материал мембран: EPDM, EPDM с защитным слоем тефлона, силикон, полиуретан – в зависимости от типа и состава сточных вод.

К *преимуществам* дисковых мембранных аэраторов АКВА-ТОР относятся:

- интенсивное перемешивания иловой смеси;
- способность работать в непрерывном и периодическом режимах аэрации;
- устойчивость к агрессивным сточным водам;
- отсутствие кольматации мембраны;
- высокие массообменные характеристики;
- высокая единичная производительность;
- простота конструкции, монтажа и эксплуатации.

Трубчатые пневмоаэраторы ООО «ГЕФЛИС» (рисунок 3.50) изготавливаются методом экструзии полимерного материала, размещаются в аэротенке секционным способом, что позволяет рационально использовать подаваемый воздух для насыщения сточных вод кислородом и равномерного их перемешивания и позволяет размещать аэраторы в коридорах аэротенков любой ширины.



Рисунок 3.50 – Аэраторы ООО «ГЕФЛИС»

Система достаточно проста в монтаже, эксплуатации, не требует к себе каких-либо особых условий. Она удобна при последующем обслуживании и текущем ремонте.

Данная система мелкопузырчатой аэрации успешно работает с 1996 года в различных регионах Республики Беларусь и Российской Федерации.

Мелкопузырчатые аэраторы FORTEX производятся трех основных типов: дисковый (АМЕ-260), пластинчатый (АМЕ-D), трубчатый (АМЕ-Т 750 и АМЕ-Т 370) (рисунок 3.51). Они снабжены резиновой мембраной, которая изготовлена из EPDM-каучука.

При определенном давлении воздуха мембрана выпучивается таким образом, что в ней раскрываются отверстия, и начинает проходить воздух в форме мелких пузырьков. Над входным отверстием воздуха мембрана не имеет перфорации и служит в качестве обратного клапана для перекрытия

впускного отверстия при прекращении подачи воздуха, чем препятствует проникновению воды в воздуховод. Контрольный клапан впуска воздуха обеспечивает одинаковое сопротивление и распределение воздуха по элементам также в случае длинных воздухораспределителей, препятствует местному падению давления и поддерживает систему в работоспособном состоянии даже в случае механического повреждения. Для закрепления элементов на магистральной аэрационной линии применяются разъемные крепления. Преимуществом элементов являются высокие окислительная мощность и использование кислорода, экономичность, низкие потери давления, простая конструкция элемента, возможность простой и быстрой замены мембраны или целого элемента, высокая устойчивость к засорению.



Рисунок 3.51 – Общий вид аэраторов FORTEX
 а, б – трубчатый АМЕ-Т 750 и АМЕ-Т 370; в – дисковый; г – пластинчатый

Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: аэрация осуществляется за счет вовлечения воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора (ротором) и перемешивании его со всем содержимым аэротенка.

При работе аэратора жидкость засасывается снизу, приводится во вращение и отбрасывается к периферии. В результате гидравлического прыжка захватывается и диспергируется атмосферный воздух. Основными показателями, характеризующими механические аэраторы, являются окислительная способность и удельные затраты.

Все механические аэраторы классифицируются:

- по *принципу действия*: импеллерные (кавитационные) и поверхностные;
- по *плоскости расположения оси вращения ротора*: с горизонтальной и вертикальной;
- по *конструкции ротора*: конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы *поверхностного типа* с незначительным погружением. К ним можно отнести аэраторы типа «Симплекс», дисковые, щетки Кессенера и их модификации.

Аэратор «Симплекс» представляет собой усеченный полый конус, с внутренней стороны которого прикреплено несколько лопастей специальной формы (рисунок 3.52). Верхняя часть конуса выступает над водой на 5–20 см. Внизу под конусом устанавливается полая труба, через которую вода разбрызгивается наружу и аэрируется. Труба не доходит до дна на несколько сантиметров и опирается на опоры.

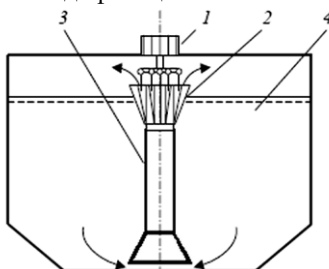


Рисунок 3.52 – Аэратор «Симплекс» [6]:
1 – электродвигатель; 2 – конус с лопастями;
3 – полая труба; 4 – коридор аэротенки

Корпус связан с трубой специальной втулкой, обеспечивающей плотность соединения вращающегося конуса и специальной трубы. При вращении относительно вертикальной оси конус выбрасывает воду, разбрызгивая ее над уровнем воды в аэротенке, что обеспечивает ее аэрацию.

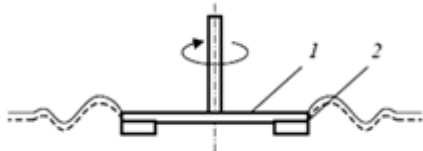


Рисунок 3.53 – Дисковый аэратор [6]:
1 – диск; 2 – лопасти

Дисковый аэратор представляет собой горизонтальный диск, с нижней стороны которого крепят радиально направленные лопасти (рисунок 3.53). За лопастями в диске делаются прорезы, скорость вращения диска составляет 3,5–4,5 м/с.

Аэратор системы Кессенера представляет собой горизонтальный цилиндр, поверхность которого покрыта ворсом из нержавеющей стальной проволоки длиной около 15 см. Аэратор погружается в воду на глубину 10–12 см. В модификациях вместо ворса применяют стальные пластинки или уголки.

Импелерные (кавитационные) аэраторы отличаются от поверхностных тем, что турбина погружается на значительную глубину и соединяется с атмосферным воздухом либо через полый вал, приводящий турбину во вращение либо через трубу, в которой проходит вал вращения. При вращении турбины труба освобождается от воды и воздух из атмосферы поступает в зону действия турбины и далее вовлекается в очищаемые сточные воды струями выбрасываемой из турбины воды.

Из-за значительной глубины погружения турбины (2,0–2,5 м) она должна вращаться с периферийной скоростью 15–20 м/с, что отрицательно сказывается на энергетических показателях.

В силу специфики механических аэраторов, имеющих квадратную или круглую в плане зону действия, при их применении стремятся увеличить ширину аэротенка до 5–6 диаметров аэратора, что усложняет компоновочные решения.

Конструкции аэротенков с механической аэрацией распространены в отечественной практике главным образом на станциях малой и средней производительности.

Смешанная система является комбинацией пневматического и механического видов и может быть весьма разнообразна. В настоящее время имеется множество конструкций аэраторов, основанных на этом виде аэрации, но принцип их действия один: механическое раздробление пузырьков воздуха, выходящих из отверстий относительно большого диаметра. В одних типах аэраторов жидкость аэрируется диспергированным воздухом, а перемешивается мешалкой; в других жидкость под напором рассекает воздушную струю из аэратора и таким образом аэрируется.

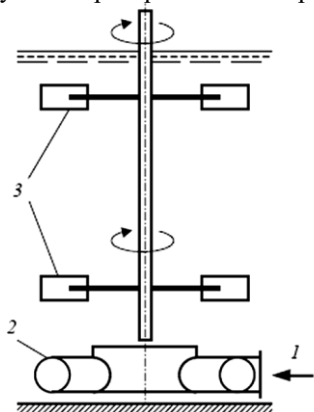


Рисунок 3.54 – Турбинный аэратор:
1 – подача воздуха; 2 – кольцевой воздухохораспределитель; 3 – турбины с лопатками

Из всех видов аэраторов в настоящее время получил широкое распространение турбинный аэратор, в котором сжатый воздух подается в перфорированное кольцо, расположенное под турбиной лопастного типа, размельчающей выходящие из отверстий кольца пузырьки воздуха и перемешивающей образующуюся в зоне аэрации водовоздушную смесь со всем содержимым аэротенка. Турбинный аэратор (рисунок 3.54) представляет собой одну, две или более турбины, установленные на вертикальном валу, который имеет привод через редуктор от двигателя. Одна турбина располагается у дна, а вторая – на глубине около 0,75 м от поверхности воды.

Под нижней турбиной располагается перфорированное воздухохораспределительное кольцо, в которое подается воздух от воздуховодов. Воздух выходит из кольца по периферии нижней турбины, благодаря действию которой он тонко диспергируется и хорошо перемешивается.

Альтернативной пневматическим системам аэрации могут быть **инжекторные или струйные аэраторы**.

Струйные аэраторы выполнены в различных конструкциях, однако имеют в своем составе:

- сопло – для пропуски сточных вод;
- патрубок для вовлечения воздуха из атмосферы;

– диффузор.

Струйные (эжекторные) аэраторы обеспечивают диспергирование атмосферного воздуха путем эжектирования его напорной струей аэрируемой жидкости, которая подается к аэраторам предусмотренными для этих целей циркуляционными насосами (рисунки 3.55, 3.56).

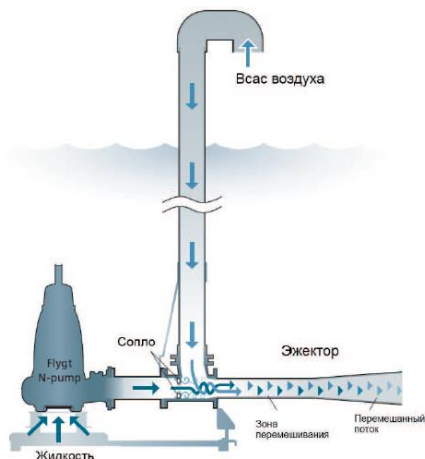


Рисунок 3.55 – Схема работы эжекторного аэратора



Рисунок 3.56 – Эжекторные аэраторы Flygt

При подаче жидкости в суженное кольцевое пространство между соплом и воздушной трубой образуется разрежение и происходит всасывание воздуха, который вместе с рабочей струей поступает на поверхность жидкости аэрируемого резервуара. При падении струи в жидкость осуществляется дополнительная аэрация.

Жидкость, перемешанная с активным илом, подается в эжектор под давлением, приблизительно равным 0,15–0,2 МПа.

К недостаткам эжекционной системы аэрации относятся затраты на техническое обслуживание и перерывы в работе, коррозия главных и подводящих водо- и воздухопроводов (их следует заменять приблизительно каждые десять лет). Преимуществом эжекторов является то, что данная система является гибкой в отношении использования кислорода или обогащенного кислородом газа во всей или в части этой системы.

Для снижения расхода электроэнергии на аэрацию необходимо иметь отверстия сопел эжекторов диаметром 20–35 мм, что затрудняет их использование на смеси активного ила и сточных вод.

Применяется эжекторная система аэрации для сравнительно небольших очистных сооружений, так как радиус действия аэратора невелик.

Большое разнообразие применяемых в настоящее время аэраторов ставит перед проектировщиком задачу выбора не только системы аэрации, но и ее конструктивного оформления для каждого конкретного случая применения аэрационных сооружений для биологической очистки сточных вод. Выбор аэратора выполняется на основе сравнения наиболее существенных показателей работы:

- эффективность аэрации;
- окислительная способность аэратора;
- стоимость системы аэрации, приходящаяся на единицу объема аэротенка в единицу времени или на единицу объема очищаемой жидкости;
- размер зоны, обслуживаемой одним аэратором;
- сложность осуществления ремонта или замены аэратора;
- надежность и долговечность в работе;
- сложность ухода за системой в процессе эксплуатации и пр.

Из технико-экономических показателей наиболее широко используются такие, как эффективность аэрации и окислительная способность аэратора (ОС), а из прочих – размер зоны, обслуживаемой аэратором, особенно для аэраторов локального действия, к которым относятся механические аэраторы.

Внедрение инновационных аэрационных систем является способом уменьшения себестоимости очистки сточных вод за счет снижения затрат на эксплуатацию очистных сооружений, повышение их эффективности, надежности и долговечности.

3.3.12 Перемешивание иловой смеси в анаэробных и аноксидных технологических емкостях

Для перемешивания в анаэробных и аноксидных технологических емкостях применяются перемешивающие устройства (мешалки), обеспечивающие необходимые скорости и предотвращающие осаждение активного ила. При их выборе учитывается, что перемешивание иловой смеси в анаэробных и аноксидных технологических емкостях не должно приводить к интенсивному поступлению воздуха в иловую смесь.

Схемы монтажа различных мешалок приведены на рисунке 3.57.

Погружные мешалки оснащаются герметичными двигателями, предназначенными для длительной эксплуатации под уровнем иловой смеси.

По конструкции погружные подразделяются на безредукторные (высокоскоростные) и редукторные (низкоскоростные).

В *безредукторных погружных мешалках* предусматривается прямая передача крутящего момента с электродвигателя на пропеллер. Они комплектуются двигателями со скоростями вращения ротора 1450, 960 и 725 об/с. Применяются для монтажа в емкостях небольших размеров, имеющих сложные формы, с различными устройствами, смонтированными во внутреннем пространстве.

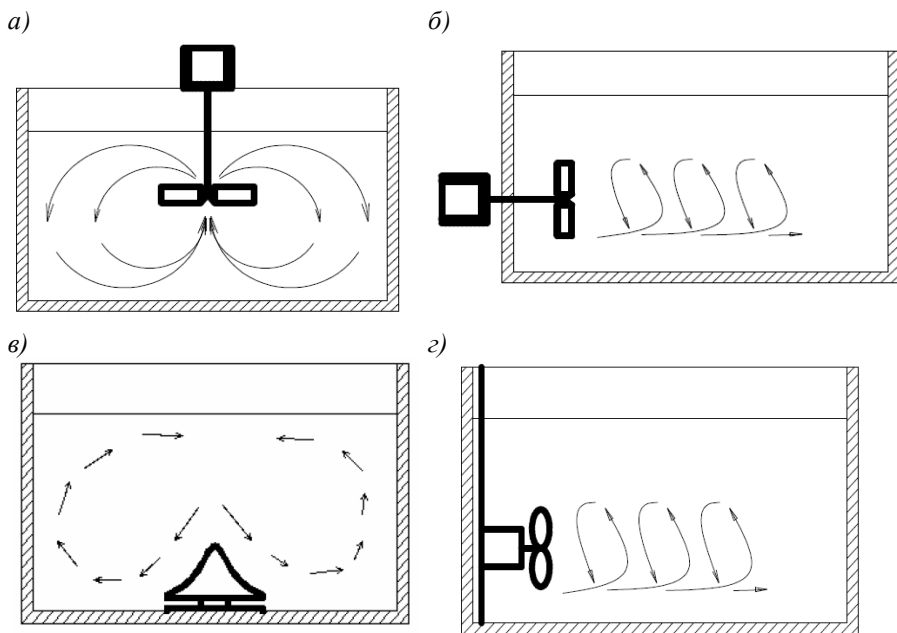


Рисунок 3.57 – Схемы монтажа различных типов мешалок в емкостях:
а – лопастная мешалка с вертикальным трансмиссионным валом; *б* – лопастная мешалка с горизонтальным трансмиссионным валом; *в* – гиперболическая погружная мешалка; *з* – погружная лопастная мешалка

В *редукторных погружных* мешалках предусматривается передача крутящего момента с электродвигателя на пропеллер с использованием понижающего редуктора.

Для снижения скорости вращения пропеллера погружные мешалки оснащаются простыми или планетарными механическими редукторами.

Энергопотребление редукторных мешалок ниже, чем у безредукторных при аналогичном перемешивающем воздействии на иловую смесь.

Удельное энергопотребление ниже у мешалок с большими диаметрами пропеллеров.

Варианты монтажа погружных пропеллерных мешалок в технологических емкостях различной формы приведены на рисунке 3.58.

Гиперболические мешалки размещаются на дне сооружения, как правило, в один ряд (при обосновании по согласованию с изготовителем допускается монтаж в два ряда).

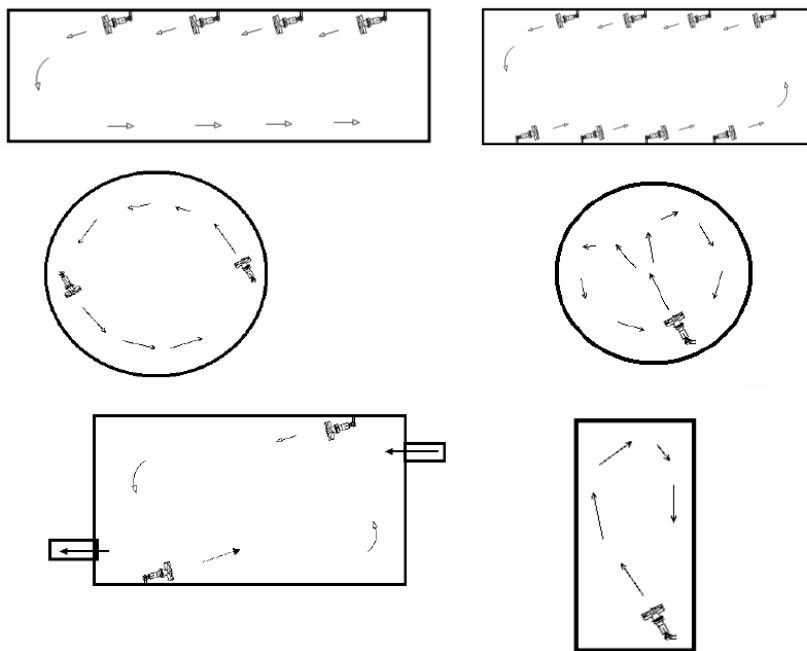


Рисунок 3.58 – Примеры монтажа погружных пропеллерных мешалок в технологических емкостях различной формы

3.3.13 Определение потребности в кислороде

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

$$OV = OV_c + OV_N - OV_D, \quad (3.30)$$

где OV_c , OV_N – расход кислорода соответственно на деструкцию органических веществ и нитрификацию, кг/сут;

OV_D – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

При отношении ХПК/БПК₅ сточной воды, поступающей на биологическую очистку, не более 2,2 удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/кг БПК₅, допускается определять по таблице 3.15 с учетом температуры и возраста ила. Для других значений возраста ила и температуры, расход кислорода на обработ-

ку сточной воды с целью деструкции органических веществ, кг/сут, определяется по зависимости

$$OV_c = B_d \left(0,56 + \frac{0,15 t_{TS} 1,072^{(15-T)}}{1 + 0,17 t_{TS} 1,072^{(15-T)}} \right), \quad (3.31)$$

где B_d – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на очистные сооружения, кг БПК₅/сут;

t_{TS} – возраст активного ила, сут;

T – расчетная температура сточных вод, °С.

Таблица 3.15 – Удельный расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ

В кг/кг БПК₅

Температура $T, ^\circ\text{C}$	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

Расход кислорода на нитрификацию, кг/сут,

$$OV_N = Q_{\text{ср.сут}} \frac{4,3(C_{\text{NO}_3D} - C_{\text{NO}_3\text{en}} + C_{\text{NO}_3\text{ex}})}{1000}, \quad (3.32)$$

где $C_{\text{NO}_3\text{en}}$ – концентрация нитратного азота в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки, мг/дм³.

Снижение потребности в кислороде, кг/сут, за счет окисления органических веществ в аноксидных условиях при денитрификации

$$OV_D = Q_{\text{ср.сут}} \frac{2,9C_{\text{NO}_3D}}{1000}. \quad (3.33)$$

Максимальная часовая потребность в кислороде, кг/ч, определяется с учетом неравномерности его потребления в течение суток:

$$OV_h = \frac{k_c(OV_c - OV_D) + k_N OV_N}{24}, \quad (3.34)$$

где k_c, k_N – коэффициент часовой неравномерности потребления кислорода соответственно при обработке сточной воды с целью деструкции органических веществ и нитрификации.

Коэффициенты k_c , k_N определяются на основании данных технологических изысканий, при их отсутствии допускается принимать значения коэффициентов по таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Значения коэффициентов часовой неравномерности потребления кислорода

Возраст ила, сут	k_c	k_N , при суточном поступлении органических загрязняющих веществ на сооружения биологической очистки, БПК ₅ /сут		
		До 1200 включ.	Свыше 1200 до 6000	Свыше 6000
4	1,30	–	–	–
8	1,25	–	–	–
10	1,20	–	2,5	2,0
15	1,20	2,5	2,5–1,8	1,8
20	1,15	2,0	2,0–1,5	1,5
25	1,10	1,5	1,5	–

Максимальная часовая потребность в кислороде OV_h , кг/ч, рассчитывается для двух вариантов сочетания нагрузок: при значении $k_c = 1,0$, $k_N = \max$ и $k_c = \max$, $k_N = 1,0$.

Требуемая подача кислорода, кг/ч, в технологические емкости с активным илом при непрерывной аэрации

$$q_0 = \frac{C_T}{C_T - C_o} OV_h, \quad (3.35)$$

где C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, принимаемая по справочным данным, мг/дм³;

C_o – концентрация кислорода в иловой смеси в технологической емкости, мг/дм³.

Для технологических емкостей с активным илом, в которых аэрация производится периодически, требуемая подача кислорода, кг/ч, рассчитывается по зависимости

$$q_0 = \frac{C_T}{C_T - C_o} OV_h \frac{1}{1 - V_D / V}. \quad (3.36)$$

При расчете систем аэрации концентрация кислорода в технологических емкостях с активным илом принимается 2,0 мг/л [24].

При подборе аэраторов необходимо исходить из их производительности по кислороду, определенной при температуре 20 °С, и отсутствия растворенного в воде кислорода.

Количество аэраторов определяется исходя из требуемого расхода кислорода и данных производителей аэрационных систем.

Заглубление аэраторов принимается с учетом давления воздуходувного оборудования и потерь давления в коммуникациях и аэраторах.

В аэротенках должна быть предусмотрена возможность опорожнения и устройства для выпуска воды из воздухораспределительной системы.

В системах аэрации, в которых аэраторы не фиксируются к опорным элементам на дне емкостных сооружений, должна быть предусмотрена возможность извлечения отдельных секций с аэраторами без опорожнения емкостей.

3.4 Вторичные отстойники

3.4.1 Стадии процесса осаждения иловых смесей

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

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

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

Иловая смесь, поступающая из аэротенков во вторичные отстойники, представляет гетерогенную (многофазную) систему, в которой дисперсионной средой служит биологически очищенная сточная вода, а основным компонентом дисперсионной фазы являются хлопья активного ила.

Важнейшим свойством иловой смеси является ее агрегативная неустойчивость – изменение диаметра хлопков ила в зависимости от интенсивности перемешивания. При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопков ила диаметром 20–300 мкм в хлопья размером 1–5 мм.

Осаждение хлопьев активного ила (при его концентрации в иловой смеси более 0,5–1 г/л) происходит с образованием видимой границы разделения фаз между осветляемой водой и илом.

Седиментационные свойства иловых смесей оцениваются по кривой кинетики снижения границы раздела фаз (рисунок 3.59).

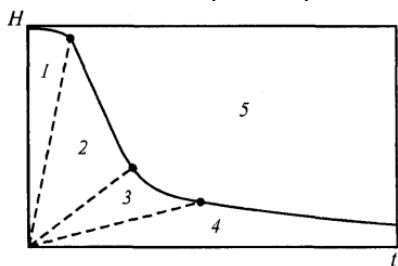


Рисунок 3.59 – Кривая кинетики снижения границы раздела фаз [5]

Можно выделить **основные стадии процесса гравитационного разделения иловых смесей:**

1 – *флукуляция* хлопьев активного ила с образованием хлопьев и видимой границы раздела фаз;

2 – *зонное осаждение* хлопьев активного ила с постоянной скоростью, зависящей от начальной концентрации активного ила в иловой смеси и величины илового индекса;

3 – *переходная стадия* от зонного осаждения к уплотнению осевшего ила;

4 – *стадия уплотнения осевшего* ила за счет сжатия хлопьев активного ила под воздействием лежащих выше слоев;

5 – *стадия осветления надиловой воды*, при которой полидисперсные иловые частицы агломерируются под воздействием собственного скоростного градиента и турбулентной диффузии.

3.4.2 Гидравлический режим работы вторичных отстойников

Условия илоразделения во вторичных отстойниках, происходящие в проточном режиме их работы, существенно отличаются от седиментации ила в контактных условиях лабораторных установок.

Гидродинамический режим работы вторичных отстойников формируется в результате совокупного воздействия следующих гидродинамических условий:

- режим впуска иловой смеси в сооружение, оцениваемый скоростью ее входа и определяющий интенсивность взаимодействия входящего потока с потоками оседающего ила и осветляемой воды;

- процесс сбора осветленной воды, определяемый в основном скоростью подхода воды к сборному лотку и его удаленностью от уровня осевшего ила;

- режим отсоса осевшего ила, определяемый скоростью входа ила в сосуны илососа, уровнем стояния ила и удаленностью сосунов от сборного лотка.

Разделение иловой смеси и осветление очищенной воды во вторичных отстойниках происходит в условиях турбулентного движения, которое представляет собой результирующую всех перечисленных выше компонентов, продуцирующих вихревое воздействие на поток в этом сооружении. Учет влияния турбулентного режима движения воды во вторичных отстойниках на конечную концентрацию взвешенных веществ производится как через

коэффициент объемного использования, характеризующий конструкцию отстойника, так и основные технологические параметры его работы.

Для обеспечения минимального выноса загрязнений из вторичных отстойников очень важное значение имеет тщательное сгребание и постоянное удаление выпадающего в осадок активного ила. При залеживании ила на днище, особенно при достаточно глубокой развитости процесса нитрификации в аэротенках, возможна и практически неизбежна его денитрификация, приводящая к всплыванию комков ила и его выносу с потоком осветленной воды.

На процесс илоразделения воздействует режим впуска иловой смеси, в частности, более высокие скорости ее ввода в радиальные отстойники, чем в горизонтальные, объясняют в 1,5–2 раза меньший конечный вынос взвешенных веществ в горизонтальных отстойниках по сравнению с радиальными.

3.4.3 Конструкции вторичных отстойников

Вторичные отстойники бывают:

- *вертикальные* – применяются на очистных станциях небольшой пропускной способности (до 20 000 м³/сут);
- *горизонтальные* и *радиальные* – на очистных станциях средней и большой пропускной способности (более 20 000 м³/сут).

Тип вторичного отстойника (вертикальный, радиальный, горизонтальный) выбирается с учетом:

- производительности станции;
- компоновки сооружений;
- количества эксплуатируемых единиц;
- конфигурации и рельефа площадки;
- геологических условий;
- уровня грунтовых вод и т. п.

Вертикальные вторичные отстойники по конструкции подразделяются на следующие:

- круглые в плане с конической иловой частью, по конструкции аналогичные первичным, но с меньшей высотой зоны отстаивания;
- квадратные в плане (12×12 м, 14×14 м) с четырехбункерной пирамидальной иловой частью.

Преимуществом вертикальных вторичных отстойников являются:

- удобство удаления из них осевшего ила под гидростатическим давлением;
- компактность расположения при их блокировке с аэротенками;
- простота конструкции ввиду отсутствия движущихся частей;
- возможность использования взвешенного слоя активного ила.

Недостатками вертикальных вторичных отстойников являются:

- большая глубина, что повышает стоимость их строительства, особенно при высоком уровне стояния грунтовых вод;
- недостаточный уклон стенок бункера приводит к залеживанию осевшего активного ила и развитию в нем анаэробных процессов.

Горизонтальные вторичные отстойники выполняются с шириной отделения 6 и 9 м, что позволяет блокировать их с типовыми аэротенками, сокращая при этом площадь, занимаемую очистными сооружениями. Для сгребания осевшего активного ила к иловому приемку в горизонтальных отстойниках используются скребковые механизмы цепного или тележечного типов. В зарубежной практике используют подвижные илососы, установленные на тележках.

Недостатками вторичных горизонтальных отстойников являются:

- сложность эксплуатации скребковых механизмов;
- большая материалоемкость по сравнению с отстойными сооружениями круглыми в плане, где меньшая толщина применяемых стеновых панелей достигается за счет предварительного напряжения ж/б конструкций.

Во вторичных радиальных отстойника иловая смесь по подводящему трубопроводу направляется в центральное распределительное устройство, представляющее собой вертикальную стальную трубу с коническим раструбом, затопленным ниже горизонта воды в отстойнике. Выходя из раструба, иловая смесь попадает в пространство, ограниченное стенками металлического направляющего цилиндра, который обеспечивает заглубленный выпуск иловой смеси в отстойную зону. Осветленная вода собирается через водослив сборного кольцевого лотка откуда поступает в выпускную камеру. Активный ил, осевший на дно отстойника, направляется самотеком под гидростатическим давлением через сосуны илососом в иловую камеру. В ней установлен щитовой электрифицированный затвор с подвижным водосливом, обеспечивающим возможность как ручного, так и автоматического регулирования отбора активного ила из отстойника путем плавного изменения гидростатического напора от 0 до 1,2 м. Работа затвора автоматизируется в зависимости от уровня стояния активного ила в отстойнике, который фиксируется датчиком уровня ила с фотоспротивлением. Редуктор привода фермы илососа позволяет регулировать угловую скорость вращения илососа в пределах 1–2 об/ч. Для опорожнения отстойника служит трубопровод.

Существенное влияние на работу вторичных радиальных отстойников большого диаметра (характерных для крупных станций аэрации) оказывает равномерность сбора осветленной воды, которая может нарушаться под воздействием ветра. Ветровой нагон воды способен перегрузить на 30–40 % одну часть сборного лотка, вызвать соответствующее перераспределение потока иловой смеси и привести к повышенному выносу загрязнений с осветленной водой. Использование зубчатых водосливов не обеспечивает требуемой рав-

номерности сбора воды. Для борьбы с указанным явлением в зарубежной практике используют систему сбора осветленной воды через затопленные дырчатые трубы, которые при равном ветровом нагоне обеспечивают более равномерный сбор воды, чем зубчатые водосливы [7].

Для обеспечения минимального выноса загрязнений из вторичных отстойников очень важное значение имеет тщательное сгребание и постоянное удаление выпадающего в осадок активного ила.

При залеживании ила на днище, особенно при достаточно глубокой нитрификации в аэротенках, возможна и практически неизбежна его денитрификация, приводящая к всплыванию комков ила и его выносу с потоком осветленной воды.

На процесс илоразделения воздействует режим впуска иловой смеси: более высокие скорости ее ввода и радиальные отстойники, чем в горизонтальные, объясняют в 1,5–2 раза меньший конечный вынос взвешенных веществ в горизонтальных отстойниках по сравнению с радиальными [7].

При проектировании вторичных отстойников принимается:

- распределение расхода иловой смеси и очищенной воды – равномерно по периметру соответственно впускного и сборного устройств;
- высота нейтрального слоя между рабочей и иловой частями отстойника на 0,3 м выше днища на выходе из отстойника;
- высота слоя ила – от 0,3 до 0,5 м;
- угол наклона конического днища вертикальных отстойников и стенок иловых приемков горизонтальных и радиальных отстойников – 55–60°;
- удаление осадка из приемка отстойника – насосами или самотеком под гидростатическим давлением не менее: 12 кПа – после биофильтров, 9 кПа – после аэротенков.

Вторичные отстойники после биофильтров и аэротенков рассчитываются по гидравлической нагрузке на поверхность отстойника q_{ss} , м³/(м²·ч), с учетом коэффициента использования объема сооружения, илового индекса, дозы ила и концентрации выносимой биопленки по формулам:

- после биофильтров всех типов

$$q_{ssb} = 3,6K_{set}u_0, \quad (3.37)$$

- после аэротенков всех типов

$$q_{ssa} = \frac{4,5K_{set}H_{set}^{0,8}}{(0,1I_i a_i)^{0,5-0,01a_i}}, \quad (3.38)$$

где K_{set} – коэффициент использования объема зоны отстаивания, зависит от типа отстойника и принимается для радиальных отстойников –

0,40, вертикальных – 0,35, вертикальных с периферийным выпуском – 0,50, горизонтальных – 0,45 [24];

u_0 – гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равна 1,4 мм/с [24];

H_{set} – глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м;

I_i – иловый индекс, определяемый в зависимости от нагрузки на ил в аэротенках, мг/г;

a_i – содержание активного ила на выходе из отстойников;

a_i – доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л, принимается не более 15 г/л [24].

Содержание активного ила на выходе из отстойников должно приниматься не более чем допустимое содержание взвешенных веществ в очищенной сточной воде и не менее 10 мг/л [24].

Влажность осадка, удаляемого из вторичных отстойников, определяется расчетом с учетом коэффициента рециркуляции, типа сборно-транспортного устройства и илового индекса. Для предварительных расчетов допускается принимать влажность осадка, удаляемого из вторичных отстойников после аэротенков, 99,6 %, после биофильтров – 97,3 % [24].

Нагрузка на 1 м сборного водослива осветленной воды принимается не более 10 л/с [24].

При проектировании отстойников после сооружений совместного биологического удаления азота и фосфора необходимо принимать:

– иловый индекс не менее 150 см³/г;

– гидравлическую нагрузку при максимальном часовом расходе сточных вод: на горизонтальные и радиальные вторичные отстойники – не более 1,6 м³/(м²·ч); вертикальные – не более 2,0 м³/(м²·ч).

При определении площади отстойников после биофильтров необходимо учитывать рециркуляционный расход [24].

4 ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Доочистка (глубокая очистка) сточных вод применяется для получения более высокой степени очистки сточных вод, которые подверглись вторичной (биологической и (или) физико-химической) очистке.

Необходимость использования сооружений глубокой очистки определяется исходя из требований к степени очистки сточных вод перед их сбросом в водные объекты или повторным использованием.

Для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод применяют сооружения для удаления взвешенных веществ и соединений фосфора (сетчатые барабанные сетки, сита, микрофильтры, фильтры и осветлители различных конструкций, устройства для мембранного разделения, сооружения для насыщения сточных вод кислородом, грунтовые фильтрационные площадки и другие сооружения), сооружения глубокого окисления органических соединений и соединений азота (биофильтры и биореакторы различных конструкций, биологические пруды, установки обработки окислителями).

Глубокая очистка также предусматривается для удаления из производственных сточных вод специфических загрязняющих веществ (солей тяжелых металлов, биологически не разлагаемых органических соединений и др.), а также для снижения общего солесодержания.

Методы глубокой очистки сточных вод делятся:

- 1) на глубокую очистку сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ;
- 2) глубокую очистку сточных вод от биогенных элементов;
- 3) глубокую очистку сточных вод от отдельных компонентов;
- 4) удаление из очищенных сточных вод бактериальных загрязнений (дезинфекция или обеззараживание сточных вод);
- 5) насыщение сточных вод кислородом.

4.1 Глубокая очистка сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ

4.1.1 Грунтовые фильтрационные площадки

Грунтовые фильтрационные площадки предусматриваются для доочистки сточных вод или очистки малозагрязненных сточных вод фильтрованием через слой основания земляных сооружений из естественного или искусственного (насыпного) грунта при коэффициенте фильтрации более 0,2 м/сут.

Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на грунтовые фильтрационные площадки, мг/дм³, не должны превышать:

– по взвешенным веществам:

· 20 – в среднем за инфильтрационный цикл;

· 50 – в поступающих сточных водах в течение периода, не превышающего 3 сут;

– по БПК₅ – 20;

– общему железу – 3,0.

Значение рН сточных вод должно быть в пределах от 6,5 до 8,5.

Эффективность очистки сточных вод на грунтовых фильтрационных площадках составляет:

– по БПК₅ – до 90 %;

– ПАВ – до 60 %;

– нефтепродуктов – до 90 %.

Концентрация взвешенных веществ снижается до 3 мг/дм³.

Параметры грунтовых фильтрационных площадок принимаются с учетом:

– гидрогеологических условий площадки строительства сооружений и свойств грунтов или материалов, используемых для фильтрующего основания;

– среднесуточного расхода очищаемых сточных вод;

– показателей качества поступающих сточных вод [24].

Грунтовые фильтрационные площадки проектируются в виде прямоугольных в плане земляных карт трапециoidalного сечения. Фильтрующее основание карт грунтовых фильтрационных площадок оснащается дренажной системой, за исключением случаев залегания в основании проницаемых фунтов большой мощности с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут при залегании грунтовых вод на глубине более 6 м. При залегании грунтовых вод на глубине менее 1,5 м от поверхности земли карты грунтовых фильтрационных площадок устраиваются на насыпном основании таким образом, чтобы дно карты было выше уровня грунтовых вод более чем на 1,5 м.

Глубина карт не должна превышать 1,5 м и принимается в зависимости от геологических, топографических и климатических условий. Превышение верха откоса над максимальным уровнем воды на карте должно составлять от 0,3 до 0,5 м.

Полезная площадь грунтовых фильтрационных площадок определяется по среднесуточному расходу очищаемых сточных вод и гидравлической нагрузке, определяемой на основании данных фильтрационных параметров грунтов оснований. При отсутствии данных и для предварительных расчетов допустимая гидравлическая нагрузка q_a , м³/(м²сут), с учетом зимнего намораживания, принимается по СН [24].

Резервная полезная площадь грунтовых фильтрационных площадок предусматривается в размере от полезной площади:

- 30 % – при гидравлической нагрузке до $0,10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{сут})$;
- 20 % – при гидравлической нагрузке более $0,10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{сут})$.

Количество карт должно быть не менее двух при гидравлической нагрузке до $0,10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{сут})$ и не менее трех – при большей гидравлической нагрузке.

Для защиты от затопления дождевыми водами и для понижения уровня грунтовых вод при высоком их стоянии по периметру грунтовых фильтрационных площадок предусматривается устройство перехватывающих каналов.

4.1.2 Процеживание сточных вод

Для глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ широкое распространение получил метод процеживания сточных вод на микрофильтрах (рисунок 4.1) и барабанных сетках. Сточная вода из подводящего канала по впускной трубе поступает внутрь барабана микрофильтра, фильтруется через сетчатые стенки и поступает в резервуар, в котором расположен барабан фильтра. Затем из резервуара через водослив изливается в отводящий канал фильтрата. Хлопья активного ила, водоросли и другие плавающие загрязнения задерживаются на сетке с размерами отверстий 35 мкм. При вращении барабана сетка с прилипшими к ней загрязнениями поступает в зону действия промывных труб, промывается и вновь погружается в воду.

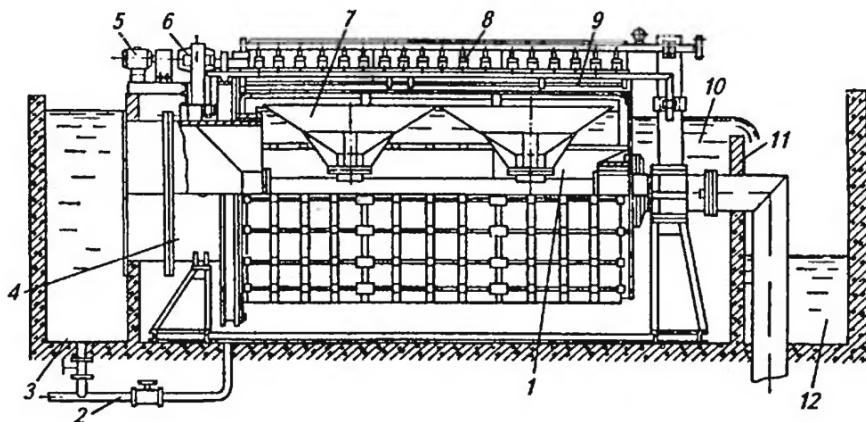


Рисунок 4.1 – Схема микрофильтра [7]:

- 1 – барабан; 2 – поперечные связи барабана; 3 – продольные связи; 4 – ребра жесткости; 5 – трубы опорожнения; 6 – входной канал; 7 – передняя рама; 8 – входная труба; 9 – закладной патрубок; 10 – цепочное колесо; 11 – сточная труба; 12 – передний подшипник

Количество резервных микрофильтров принимается: при количестве рабочих единиц оборудования не более четырех – одну резервную, а при количестве рабочих единиц оборудования более четырех – две резервные [24].

Концентрация взвешенных веществ в исходной воде поступающей на микрофильтры не должна превышать 40 мг/л.

Степень очистки при отсутствии данных производителей для предварительных расчетов допускается принимать [24]:

- по взвешенным веществам – 50–60 %;
- БПК₅ – 25–30 %.

4.1.3 Фильтрация сточных вод

При фильтровании биологически очищенных сточных вод происходит снижение содержания взвешенных веществ путем изъятия частиц активного ила и накопления их в фильтрующей загрузке. Этот процесс близок к тем процессам, которые характерны для фильтров систем водоснабжения.

Для снижения концентрации взвешенных веществ в сточных водах применяются однослойные, двухслойные и каркасно-засыпные фильтры (КЗФ) с зернистой загрузкой. В качестве фильтрующего материала применяются кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, гранулированный доменный шлак, антрацит, керамзит, полимеры, а также другие зернистые загрузки, обладающие необходимыми технологическими свойствами, химической стойкостью и механической прочностью.

В зависимости от способа подачи сточной воды на фильтрацию различают фильтры с нисходящим потоком и фильтры с восходящим потоком (рисунки 4.2 и 4.3).

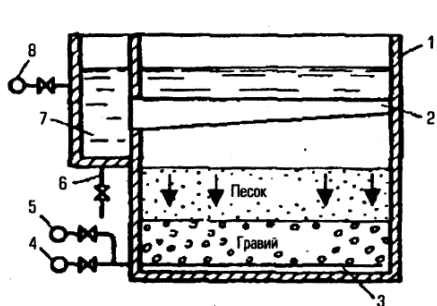


Рисунок 4.2 – Схема скорого фильтра с нисходящим потоком воды [7]:

- 1 – корпус фильтра; 2 – желоба для распределения фильтруемой воды и для отвода промывной; 3 – дренажная система; 4 – отвод фильтрованной воды; 5 – подача промывной воды; 6 – отвод грязной промывной воды; 7 – распределительный карман; 8 – подача осветляемой воды

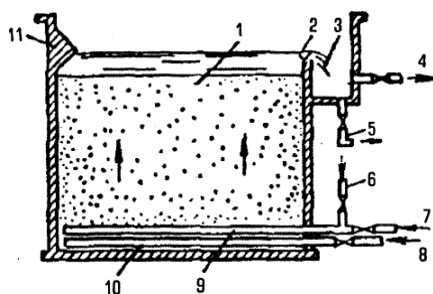


Рисунок 4.3 – Схема фильтра с восходящим потоком воды и водовоздушной промывкой [7]:

- 1 – загрузка; 2 – пескоулавливающий желоб; 3 – карман; 4 – отвод фильтрованной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – подача воды на промывку; 7 – подача очищаемой воды; 8 – подача воздуха; 9 и 10 – распределительные системы для подачи соответственно воды и воздуха; 11 – струенаправляющий выступ

При ухудшении качества фильтрата или достижении предельной потери напора фильтр необходимо промыть.

В зависимости от конструкции фильтров применяется промывка:

- *водовоздушная* – для однослойных;
- *водяная* – для двухслойных;
- *водовоздушная* или *водяная* – для каркасно-засыпных.

Также промывка фильтров разделяется:

- на *текущую* – производится при предварительном сбросе воды по поверхности загрузки несколько раз в сутки;
- *профилактическую* – производится один-два раза в неделю сразу после текущей.

Расчет фильтров производится в соответствии с требованиями СН [24] на максимальный часовой расход с учетом неравномерности притока, равной 15 %.

При проектировании фильтров с зернистой загрузкой необходимо предусматривать:

- при подаче сточных вод после биологической очистки – установку перед фильтрами (кроме КЗФ) барабанных сеток;
- вместимость резервуаров промывной воды и грязных вод от промывки фильтров – не менее чем на две промывки;
- насыщение фильтрованной воды кислородом (при необходимости);
- трубчатые распределительные дренажные системы большого сопротивления;
- для фильтров с подачей воды сверху вниз – устройство гидравлического или механического взрыхления верхнего слоя загрузки;
- периодическую обработку фильтра (2–3 раза в год) хлорной водой с содержанием хлора до 150 мг/л при продолжительности контакта 24 ч – для предотвращения биологического обрастания фильтров.

4.1.4 Разделение иловой смеси с очищенной сточной воды на мембранах

Биологическая очистка с разделением иловой смеси и очищенной воды мембранными фильтрами вместо вторичного отстаивания предусматривается при повышенных требованиях к степени очистки по содержанию взвешенных веществ (менее 1,0 мг/дм³) и микроорганизмов, в том числе при необходимости повторного использования очищенных сточных вод.

Мембранный биореактор сочетает биологическую обработку активным илом с механической мембранной фильтрацией. Мембранный модуль используется для разделения иловой смеси и представляет собой альтернативу широко применяемому методу осаждения активного ила во вторичных отстойниках, используемую в традиционных системах биологической очистки в аэротенках.

При очистке бытовых сточных вод мембранные биореакторы могут производить «серые» воды достаточно высокого качества для того, чтобы их можно было сбросить в естественные водные объекты или использовать в системе орошения, предназначенной для полива городских зеленых насаждений.

Биореакторы можно разделить на два типа:

- с *внутренним расположением мембраны*: погруженные в очищаемую воду мембраны являются неотъемлемой частью биологического реактора;
- с *внешним расположением мембран*: мембраны отделены от технологических емкостей и требуют установки промежуточных перекачивающих насосов.

На рисунке 4.4 приведена традиционная схема очистки сточных вод и схема очистки с помощью мембранного биореактора, обеспечивающая очистку сточных вод от взвешенных веществ и патогенных микроорганизмов.

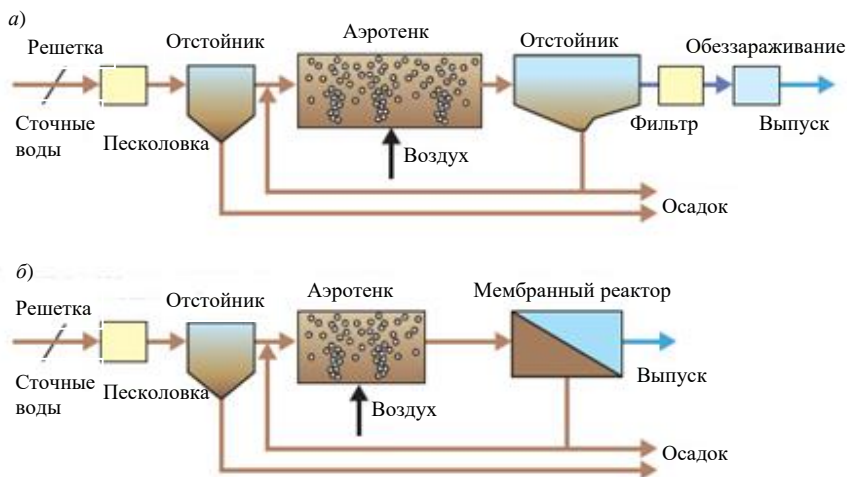


Рисунок 4.4 – Схемы очистки сточных вод с применением мембранного биореактора: а – традиционная; б – с помощью мембранного биореактора

В основу действия биореактора положен синтез биотехнологии и технологии разделения водных суспензий на ультрафильтрационных полимерных мембранах.

Система мембранного биореактора состоит из аэротенка и мембранного модуля, оборудованного полволоконными ультрафильтрационными или микрофильтрационными мембранами. Обрабатываемые сточные воды по-

ступают в аэротенк. Находящаяся в аэротенке иловая смесь циркулирует через мембранный модуль. Ультрафильтрационные мембраны служат для повышения концентрации активного ила в аэротенке и глубокой очистки обрабатываемых сточных вод. Аэротенк в системе мембранного биореактора работает с высокой концентрацией активного ила, поэтому его размеры в 2–3 раза меньше размеров классического проточного аэротенка.

Мембранный модуль состоит из 10–20 кассет с мембранами. В каждой кассете располагаются от 5 до 15 пучков мембранных волокон. Половолоконная мембрана представляет собой полую нить наружным диаметром около 2 мм и длиной до 2 м. Поверхность нити представляет собой ультрафильтрационную мембрану с размером пор 0,03–0,1 мкм.

Каждый пучок состоит из 100–1000 мембранных волокон и оборудован общим патрубком отвода фильтрата. Столь малый размер пор является физическим барьером для проникновения организмов активного ила, имеющих размер более 0,5 мкм, что позволяет полностью отделить активный ил от сточной воды и снизить концентрацию взвешенных веществ в очищенной воде до 1 мг/л и менее.

Фильтрация происходит под действием вакуума, создаваемого на внутренней поверхности мембранного волокна самовсасывающим насосом фильтрации. Для организации фильтрации между внутренней полостью мембран и пространством мембранного блока создается разность давлений (0,01–0,06 МПа). При этом смесь сточных вод и активного ила фильтруется через поверхность мембран снаружи вовнутрь. В результате отделения твердых и коллоидных частиц на половолоконных мембранах концентрация активного ила в блоке мембранного биореактора и в аэротенке повышается, что способствует глубокой биологической очистке сточных вод и обеспечивает уменьшение объема аэротенка в 2–3 раза.

Очищенная вода поступает по напорным трубопроводам на обеззараживание, а активный ил остается в мембранном резервуаре и поддерживается во взвешенном состоянии с помощью системы аэрации, встроенной в мембранный модуль.

Аэрирование осуществляется сжатым воздухом с помощью аэрационных систем (воздуходувок). В зависимости от требуемой производительности мембранные модули объединяются в мембранный блок. Число мембранных модулей в блоке может быть увеличено при необходимости повышения производительности системы.

Применяемое в системах мембранных биореакторов касательное фильтрование иловой смеси предотвращает ее забивание, т.е. накопление отложений (бактерий). Такое движение иловой смеси обеспечивается циркуляционным насосом с производительностью, значительно выше расхода подлежащей обработке сточной воды. Возможность регулирования расхода и давления в циркуляционном контуре позволяет наладить полноценное

управление процессом мембранного фильтрования при максимальной его эффективности. Кроме того, реализация режима касательного фильтрования имеет положительные последствия в отношении биологии всей системы. Постоянное омывание мембран диспергирует очищающие бактерии, которые более не образуют плотные флоккулы, а потому возможность их прямого контакта с загрязнениями и кислородом значительно увеличивается. Из этого следует, что соотношение активных бактерий и окисляемых загрязнений оказывается большим в системе МБР, чем это обычно встречается в классической системе с активным илом.

Микроорганизмы активного ила не выносятся из системы МБР, поэтому биореактор работает в условиях высокой концентрации биомассы значительного возраста. Кроме того, постоянная циркуляция приводит к механическому воздействию на оболочки бактерий. Именно поэтому основная потребляемая бактериями энергия используется не для размножения (как это происходит в классических биотехнологиях), а расходуется для поддержания жизнедеятельности, что приводит к снижению прироста избыточной активной биомассы.

Отказ от гравитационного метода разделения иловой смеси позволяет повысить концентрацию активного ила в биореакторе до 10–20 г/л (в обычной аэротенке – до 3 г/л).

Высокие концентрации активного ила позволяют эксплуатировать биореактор в режиме низких нагрузок, что создает резерв окисляющей способности, повышает устойчивость биоценоза активного ила к колебаниям состава сточных вод и пиковым нагрузкам, обеспечивает стабильное качество очистки. С другой стороны, высокие концентрации активного ила многократно повышают окисляющую мощность сооружения в целом, что дает возможность очищать высококонцентрированные сточные воды с содержанием органических веществ по ХПК до 4–5 г/л.

При переходе от гравитационного метода разделения иловой смеси к мембранной фильтрации наблюдаются глубокие изменения в структуре биоценоза активного ила. Возраст ила в МБР обычно составляет 25–30 сут, нередко превышая 60–70 сут. При этом основная часть активного ила представлена медленнорастущей микрофлорой, которая наиболее эффективно разлагает трудноокисляемые органические вещества в сточной воде. Преобладание медленнорастущей микрофлоры позволяет значительно снизить прирост активного ила, а следовательно, необходимые мощности оборудования по обезвоживанию избыточного активного ила.

Размер хлопьев активного ила в МБР в 5–10 раз меньше, чем в распространенных конструкциях аэротенков. Такая дисперсность активного ила приводит к увеличению площади контакта микроорганизмов со сточными водами, повышая эффективность сорбции активным илом инертных веществ, тяжелых металлов, микрозагрязнителей.

Вследствие того, что поры мембран имеют меньший размер, чем размеры клеток микроорганизмов, в частности, бактерий, в МБР происходит частичное обеззараживание воды. Эффективность удаления бактерий составляет 99,99 %, вирусов – 99,9 %. Непосредственно после МБР очищенная вода может быть сразу направлена на повторное использования для непитьевых целей.

Высокие дозы ила позволяют сократить время пребывания сточных вод в сооружении. Как следствие, площадь, занимаемая МБР, в 2–4 раза меньше площади, занимаемой традиционными сооружениями биологической очистки.

К *преимуществам* использования мембранных биореакторов относятся:

- возможность произвести;
- глубокая очистка сточных вод от загрязняющих веществ до показателей, удовлетворяющих требованиям по сбросу очищенных сточных вод в природные водные объекты всех категорий без включения в технологическую схему дополнительных блоков;
- возможность получения «серых» вод, использование которых значительно снижает нагрузку, создаваемую очистными сооружениями на окружающую среду;
- повышение устойчивости работы биореактора к залповым сбросам сточных вод;
- возможность увеличения или уменьшения производительности без изменения технологического процесса;
- снижение на 20–40 % массогабаритных характеристик емкостных сооружений, т.к. необходимое количество активного ила находится в меньшем объеме при более высокой концентрации;
- получение малого количества избыточного активного ила, что значительно влияет на стоимость его механического обезвоживания и утилизацию;
- сокращение на 30–70 % площади, занимаемой оборудованием (благодаря отсутствию вторичных отстойников, блоков доочистки, иловых площадок).
- обеспечение высокой микробиологической безопасности очищенных сточных вод;
- исключение выноса активного ила из системы в резервуар с очищенной водой.

4.2 Физико-химические методы удаления биогенных элементов

4.2.1 Физико-химические методы удаления соединений азота

Решение проблемы удаления соединений азота из сточных вод с применением физико-химических методов началось с 60–70-х гг. XX в. В то время

не было необходимости осуществлять очистку сточных вод от соединений азота до современных показателей (см. таблицу 1.2), но для некоторых, особенно производственных сточных вод, применение физико-химических методов очистки было наиболее приемлемым.

В настоящее время физико-химические методы удаления соединений азота из сточных вод в основном применяются на стадии доочистки сточных вод. За рубежом такие методы разрабатываются и применяются более интенсивно.

Метод хлорирования активным хлором основан на химической реакции, которая происходит при добавлении хлора к воде. В этом случае образуются хлорноватистая и соляная кислоты. Аммиак реагирует с хлорноватистой кислотой, образуя хлорамины. Добавление активного хлора превращает хлорамины в оксид азота – нерастворимый газ, который улетучивается в атмосферу.

Одним из методов физико-химического удаления азота из сточных вод является хлорирование до точки перегиба. Весовые отношения хлора к азоту аммонийному, требуемые для хлорирования сточных вод до точки перегиба, колеблются от 8:1 до 10:1; меньшее значение применимо для сточных вод, прошедших обширную предварительную обработку. Хлорирование до точки перегиба при $\text{pH} = 6,5 \dots 7,5$ может дать 95%-ное удаление аммиака, а при первоначальных концентрациях азота аммиака 8–15 мг/дм³ содержание остаточных треххлористых азотистых соединений никогда не превышает 0,5 мг/дм³. Недостаток метода состоит в том, что почти весь вводимый хлор восстанавливается в ионы хлорида, что приводит к повышению концентрации растворенных солей в очищенной сточной воде. Однако данная проблема может решаться пропуском обработанной хлором сточной воды через колонны, наполненные активированным углем.

Обратный осмос. Применение полупроницаемых мембран, в частности целлюлозно-ацетатных, позволяет достигать эффекта очистки от азотсодержащих соединений до 98,5 %. Но процесс, основанный на свободном пропуске молекул растворителя при фильтровании сквозь мембрану и задержке молекул или ионов растворенных веществ, требует тщательной предварительной очистки и умягчения воды. Также установлено, что ион аммония эффективно задерживается ацетат-целлюлозными мембранами в кислой среде.

Озонирование. Применение озонирования является целесообразным лишь в случаях перехода аммонийного азота в нитратную форму. Аммиак полностью окисляется в нитрат, в результате устраняется расход кислорода на окисление азота в отходах. В сточных водах протекает реакция первого порядка относительно концентрации аммиака, и скорость протекания реакции повышается с увеличением уровня pH и превышении им диапазона 7–9

и с ростом парциального давления озона. Причем эффективного удаления аммиака можно достичь только при поддержании щелочной среды.

Метод отдувки аммиака. Аммиак можно отдуть из раствора воздухом при $\text{pH}=11$. После обработки известью (для осаждения фосфора) сточная вода насосами перекачивается в верхнюю часть охладительной башни и распределяется по загрузке колонны. Нагнетаемый воздух пропускается через загрузку для извлечения аммиака из капель воды. Простота этого процесса делает его наиболее дешевым методом денитрификации в тех случаях, когда для удаления фосфора проводится предварительная обработка сточной воды известью. С помощью воздушной отдувки можно добиться 95%-ного удаления аммиачного азота.

К недостаткам метода относится следующее:

- на загрузке башен образуются отложения карбоната кальция, которые необходимо часто удалять промывкой кислотами или с помощью механической очистки;

- зимой в башне образуется лед;

- аммиак характеризуется повышенной растворимостью при низких температурах, что снижает эффективность его удаления и может привести к необходимости подогрева башен в зимнее время;

- нитратный азот, образующийся в процессе биологической очистки, не поддается воздушной отдувке.

Ионный метод применяется, когда требуется обеспечить постоянно очень низкую концентрацию азота в воде после очистки. Эффективность процесса ионного обмена не зависит от температуры сточных вод, поступающих на очистку.

Для обеспечения экономичности процесса денитрификации, проводимого путем ионного обмена, необходимы материалы, обладающие высокой избирательной способностью по отношению к неорганическому азоту. Одним из таких материалов является клиноптилолит – естественный неорганический цеолитовый материал.

Предварительная обработка, предшествующая катионному обмену, заключается в осветлении методом химической коагуляции и фильтровании, доведении значения pH до 6,5, чтобы превратить аммиак в ион аммония, так как свободный аммиак не адсорбируется и не вступает в ионообменные реакции с клиноптилолитом.

Применение метода *ограничивается* содержанием на неподвижном слое сорбента:

- взвешенных веществ до 10 мг/л;

- сульфидинов – 8–10 мг/л.

Отработанный обменный материал можно регенерировать с помощью:

- известкового раствора, который затем подвергается отдувке воздухом с выделением аммиака в атмосферу;

– раствора серной кислоты (10%-ного) в результате чего получается ценный продукт – сульфат аммония.

Цеолиты целесообразно использовать для доочистки сточных вод при концентрации аммиака в них не выше 100–150 мг/л.

В Японии разработан комбинированный трехстадийный метод очистки сточных вод с использованием цеолитов. На первой стадии процесса в сточную воду добавляют цеолит с целью удаления ионов тяжелых металлов, известь (150 мг/л по СаО) и избыточный активный ил для удаления соединений фосфора и взвешенных веществ. После отстаивания (вторая стадия) осветленные сточные воды направляются на биологическую очистку, а образовавшийся осадок обезвоживается, сжигается и удаляется. На третьей стадии процесса в биологически очищенную сточную воду вновь добавляют клиноптилолит в дозах, обеспечивающих значительное снижение концентрации аммонийного азота. Для получения более высокого качества воды по всем показателям рекомендуется после третьей стадии процесса сточную воду направлять на адсорбционную ступень очистки и обеззараживание. Регенерация цеолита осуществляется термическим путем.

Проведенные в АзНИИ водных проблем исследования по изучению высокоадсорбционного природного цеолита клиноптилолита – как фильтрующего материала для очистки природных и сточных вод, содержащих аммонийный азот, показали довольно высокую степень его извлечения. Высокий эффект (94–97 %) извлечения аммонийных азотов из водных растворов достигается в загрузке из дробленого клиноптилолита ($d_{\text{экр}} = 0,5$ мм). Для регенерации отработанного клиноптилолита используется суспензия извести, дающая гидроксильные ионы, которые сдвигают равновесие между аммиаком и ионами аммония в сторону образования щелочного аммиачного раствора, аналогичного тому, который имеется в процессе отгонки аммиака. Отработанный раствор пропускают через отгонную колонну для отгонки аммиака, после чего регенерирующий раствор можно повторно использовать.

Для очистки сточных вод от соединений азота могут также применяться синтетические цеолиты: NaA, NaX, NaY, NaM, NaP (цеолит типа филлипсита). Для доочистки сточных вод использовалась фракция 0,25–0,5 мм. Такие частицы имеют достаточно высокую механическую прочность, устойчивы в водных растворах солей и выдерживают изменение pH = 4...9. Санкт-Петербургским технологическим институтом предлагается в качестве сорбента использовать ионообменное волокно, полученное на основе полиакрилонитрила.

В качестве сорбента для удаления аммонийного азота из сточных вод может быть применен также коксовый шлак и гидротермически кристаллизованные угольные зола различных типов.

Электрохимический метод основан на электролизе морской воды, в результате которого выделяющийся гидроксид магния вступает в реакцию с содержащимися в сточных водах ионами фосфора и аммиаком с образованием нерастворимой комплексной соли. Одновременно из-за выделения на аноде Cl_2 происходит обеззараживание сточных вод и частичное окисление органических загрязнений.

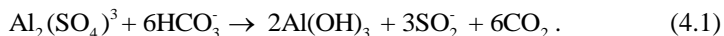
Наиболее эффективная и стабильная очистка с удалением 80–85 % аммонийного азота и до 90 % ортофосфатов достигается при добавлении в обрабатываемую сточную воду 20 % морской воды. При напряжении 7 В расход электроэнергии составляет 200 А/ч на 1 м³ обрабатываемой воды. Образующийся осадок содержит 1,1–2 г общего азота и 0,67–0,97 г общего фосфора на 100 г сухого вещества, что определяет целесообразность использования его в качестве удобрения.

4.2.2 Физико-химические методы удаления соединений фосфора

Существует большое разнообразие методов удаления фосфора химическим и физико-химическим способами.

В настоящее время применяется и продолжает изучаться химический метод удаления фосфора из сточных вод. Широкое распространение на практике этот метод получил на станциях малой и средней производительности.

При химической очистке сточных вод ионы реагента взаимодействуют с растворимыми солями ортофосфорной кислоты, вследствие чего происходит образование мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата. В то же время химический реагент вступает в реакцию со щелочами, содержащимися в воде, образуя осадок из крупных хлопьев. Этот осадок вызывает коагуляцию мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата и взвешенных веществ, а также адсорбирует некоторую часть органических соединений, содержащих фосфор, далее этот осадок выводится из системы. В качестве реагентов используют соли двух и трёхвалентных металлов. В практике очистки сточных вод нашло широкое распространение применение таких коагулянтов, как *соли алюминия и железа, известь*. При добавлении к сточным водам сернокислого алюминия в присутствии щелочей идёт следующая реакция



Далее, в присутствии фосфатов, имеет место реакция



Эти две реакции конкурируют за ионы алюминия, которые даёт добавление сернокислого алюминия. Хлопья осадка гидроокиси алюминия адсорби-

руют фосфат алюминия и коллоидные частицы твёрдых примесей, способствуя тем самым удалению фосфора путём осветления сточной воды.

Другим источником ионов алюминия является алюминат натрия NaAlO_2 . Это вещество обычно является плохим коагулянтом в мягкой воде, но гораздо лучшим коагулянтом в жёстких водах.

В качестве реагента для удаления соединений фосфора из сточных вод возможно использование водопроводного осадка, образующегося при коагулировании сульфата алюминия высокоцветных, маломутных вод.

При использовании в качестве коагулянта солей трёхвалентного железа протекает реакция



При применении железного купороса двухвалентное железо окисляется до трёхвалентного:

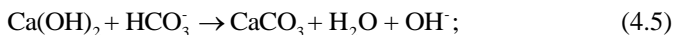


Частицы осадка FePO_4 имеют коллоидные размеры, и поэтому необходимо добавлять избыток ионов железа, достаточный для образования гидроокиси железа. Осадок гидроокиси железа захватывает частицы FePO_4 и другие твёрдые частицы, содержащиеся в сточных водах, и действует как адсорбент для других фосфорсодержащих соединений.

Хлопьевидный осадок гидроокиси железа осаждается с трудом, и часто для получения прозрачной осветлённой надилловой воды необходимо использовать органический полимер.

В качестве реагента для дефосфотации могут применяться также рудничные воды, которые содержат соли 2-валентного железа. Этот метод обеспечивает стабильное качество очистки фосфатов и может быть реализован на действующих очистных сооружениях без их остановки, так как он достаточно прост в эксплуатации.

При использовании в качестве коагулянта известны протекают следующие реакции:



Известь взаимодействует с ионами бикарбоната, содержащимися в сточных водах, с образованием карбоната кальция и, кроме того, реагирует с фосфатами. Фосфаты осаждаются ионами кальция, полифосфаты удаляются путём адсорбции на образовавшихся ранее частицах оксиапатита. С увеличением рН растворимость оксиапатита быстро уменьшается, а эффективность удаления фосфора улучшается. Практически весь ортофосфат осаждается при рН выше 9,5. При рН менее 9,5 фосфор адсорбируется на карбонате кальция.

При применении извести, приводящей к значительному росту показателя рН, биологический процесс ингибируется, следовательно, постоянная подача извести на ступени очистки, предшествующие биологической, неприемлема, а обработка уже биологически очищенных сточных вод усложняется тем, что такая технология должна заканчиваться рекарбонизацией.

Физико-химические методы очистки сточных вод от фосфатов находят свое применение, чаще всего на стадии доочистки сточных вод.

Адсорбция заключается в поглощении фосфора поверхностью сорбента. Сорбент может быть приготовлен:

- из гранулированной окиси алюминия;
- активированных оксидов 3-й и 4-й групп металлов периодической системы элементов, нанесённых на волокнистый материал.

Высокой адсорбционной способностью по отношению к примесям соединений фосфора обладает доломит (изъятие фосфора – более 95 %).

Метод удаления фосфатов в магнитном поле. Фосфаты связываются реагентом в нерастворимые соединения, после чего вводится магнитный материал и под воздействием магнитного поля выделяется фосфатсодержащий осадок.

В качестве осаждающего агента может быть использована известь, соли железа или алюминия, а в качестве магнитного материала – порошок тонко измельчённого Fe_2O_3 .

Метод электрокоагуляционно-флотационной очистки обеспечивает полное удаление фосфора из сточной воды. Возможно использование как алюминиевых, так и железных (стальных) электродов. Применение метода ограничено периодичностью замены сработанных электродов.

Метод кристаллизации основан на выращивании кристаллов фосфатов в сточных водах на центрах кристаллизации, которые затем выводятся из системы. Кристаллизация осуществляется на фильтрах или во взвешенном слое. В качестве затравочного материала могут быть использованы минералы, содержащие фосфат кальция, костяной уголь, шлак доменных печей и др. Фосфор связывается с ионами кальция и осаждается в виде трудно растворимого оксиапатита.

Существует метод *Phosnix*, суть которого заключается в одновременном удалении азота и фосфора при химическом взаимодействии ионов магния с фосфатами в аммиачной среде с образованием нерастворимой кристаллической двойной соли фосфата магния – аммония $MgNH_4PO_4 \times H_2O$:



Образовавшийся в процессе кристаллизации осадок имеет малую влажность. Эффективность изъятия фосфатов составляет 80–90 %.

Применения химического способа стараются избегать из-за высокой стоимости реагентов и вторичных загрязнений, образующихся после применения коагулянта.

Физико-химические методы не находят широкого практического применения в связи с высокими затратами, необходимыми на осуществление процессов, и сложностью эксплуатации. Применение сорбционных материалов требует тщательной предварительной подготовки очищаемых сточных вод, так как наличие в сточной воде взвешенных веществ и других загрязняющих веществ уменьшает сорбционную ёмкость материалов, что, в свою очередь, усложняет процесс очистки.

4.3 Удаление из сточных вод отдельных компонентов

Одними из самых эффективных способов удаления из сточных вод отдельных компонентов (тяжелые металлы, нефтепродукты, хлорорганика, СПАВ, фенолы) являются **адсорбция** и **ультрафильтрация**.

Для глубокой очистки сточных вод с целью удаления из них растворенных органических загрязняющих веществ, тяжелых металлов применяются углеродные сорбенты (в том числе активный уголь), минеральные (в том числе цеолиты) и органические в виде порошков, гранул и волокон.

Активный уголь применяется в виде слоя загрузки плотного (движущегося или неподвижного), намытого на подложку из другого материала, или суспензии в сточной воде.

Углеродные сорбенты (активные угли) являются гидрофобными сорбентами с высокой степенью карбонизации (90–95 %).

Сорбенты характеризуются:

- пористостью;
- структурой пор;
- химическим составом.

Пористость активных углей составляет 57–75 %, туфов – 30–55 %, диатомитов – до 75 %. Для активных углей суммарный объем пор составляет обычно 0,76–0,88 см³/г. Но пористость и суммарный объем пор лишь приблизительно характеризуют сорбционную способность, так как не учитывают структуру пор, обуславливающую величины доступной поверхности и адсорбционного потенциала.

Другой характеристикой сорбентов является их химический состав или химическое родство с извлекаемыми загрязнениями. Поэтому применение гидрофобных сорбентов (например, активных углей) целесообразно в гидрофильных средах (сточных водах) и, наоборот, гидрофильных сорбентов (например, силикагелей) в гидрофобных средах (в нефтепродуктах).

Между степенью адсорбции органического вещества и его растворимостью в воде (гидрофильностью) существует обратное соотношение:

- с понижением температуры степень адсорбции снижается;
- снижение величины рН в большинстве случаев вызывает увеличение адсорбции типичных органических веществ сточных вод.

Комплекс технологического оборудования для проведения адсорбционной очистки сточных вод включает:

- адсорбер;
- системы подачи и отвода сорбента на регенерацию, зависящие от конструкции адсорбера;
- емкости для его хранения и отделения сорбента от очищенной воды (при необходимости);

– оборудование для подачи и отвода сточной воды.

Конструкция адсорбера выбирается в зависимости:

- от задач адсорбции (извлечение ценных веществ, глубокая очистка);
- свойств и расходов сточных вод (степень концентрации, дисперсность, сопутствующих примесей);
- свойств активного угля (крупность частиц, прочность, кинетические характеристики);
- характера процесса (периодический или непрерывный, причем адсорбция загрязнений сточных вод протекает непрерывно, а использование активного угля является периодическим).

Для концентрирования и извлечения технически ценных веществ, т. е. при регенерационной очистке сточных вод наилучшие условия создают аппараты с неподвижным слоем активного угля (*насытные фильтры*).

В качестве адсорберов с неподвижным слоем применяются конструкции безнапорных открытых и напорных фильтров с загрузкой в виде плотного слоя гранулированного угля крупностью 0,8–5,0 мм.

Принцип действия таких аппаратов заключается в фильтровании сточных вод через неподвижный слой адсорбента до проскока в фильтрат извлекаемых веществ в количестве, превышающем заданный по технологическим условиям предел, например, до появления в фильтрате концентрации вещества, превышающей его допустимую концентрацию на выпуске очистных сооружений. Каждый адсорбер оборудуется необходимым числом задвижек и вентилях для управления работой аппарата, отбора проб воды и выпуска воздуха или газов, попадающих в адсорбер вместе с очищаемой водой.

Направление движения сточных вод в них может быть как сверху вниз, так и снизу вверх. При фильтровании воды сверху вниз верхний слой активного угля наряду с поглощением растворенных органических загрязнений задерживает высокодисперсные взвеси, если предварительно они не были удалены из сточной воды. Накопление осадка в слое загрузки является крайне нежелательным явлением, так как вследствие этого уменьшается свободный объем межзернового пространства слоя угля и увеличивается гидравлическое сопротивление загрузки.

Содержание взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на адсорберы, не должно превышать 5 мг/дм^3 .

Выгрузка активного угля из адсорбера должна производиться насосом, гидроэлеватором, эрлифтом и шнеком при относительном расширении загрузки на 20–25 %, создаваемом восходящим потоком воды со скоростью 40–45 м/ч.

В напорных адсорберах допускается осуществлять выгрузку угля под давлением не менее 0,3 МПа.

Металлические конструкции, трубопроводы, арматура и емкости, соприкасающиеся с влажным углем, должны быть защищены от коррозии.

Применению **аппаратов с псевдооживленным слоем активного угля** для глубокой доочистки биологически очищенных сточных вод способствовали их преимущества:

- возможность использования зерен адсорбента относительно малых размеров (0,2–1,0 мм), т.е. частиц активных углей с развитой внешней поверхностью;
- небольшое гидравлическое сопротивление слоя;
- высокая подвижность частиц в псевдооживленном слое, позволяющая без особых затруднений вести непрерывный процесс адсорбции;
- возможность создания аппаратов большой производительности, сравнительно простых в конструктивном отношении и надежных в эксплуатации.

Сточные воды, поступающие в адсорберы с псевдооживленным слоем, не должны содержать взвешенных веществ более 1 г/дм^3 при гидравлической крупности не более 0,3 мм/с [24]. Взвешенные вещества, выносимые из адсорберов, и мелкие частицы угля следует удалять после адсорбционных аппаратов.

Адсорбенты с насыпным весом более $0,7 \text{ т/м}^3$ могут дозироваться в мокром или сухом виде, менее $0,7 \text{ т/м}^3$ – только в мокром виде

По высоте адсорберов 0,5–1,0 м должны быть предусмотрены секционирующие решетки с круглой перфорацией диаметром 10–20 мм и долей живого сечения 10–15 %. Оптимальное количество секций – три-четыре.

Скорость восходящего потока воды в адсорбере принимается:

- 30–40 м/ч – для активного угля с размерами частиц 1,0–2,5 мм;
- 10–20 м/ч – для угля с размерами частиц 0,25–1,0 мм.

Доза активного угля для очистки воды должна определяться экспериментально.

В процессе длительной работы адсорбционных фильтров на поверхности зерен загрузки образуется биопленка, которая нарушает их нормальную работу, увеличивает потери напора. Вместе с тем нарастающая биопленка способствует более глубокой очистке воды по БПК и содержанию азота. Это явление было положено в основу разработки сооружения для глубокой

очистки сточных вод – *биосорбера*, в котором сочетаются биохимические и физико-химические процессы, происходящие во взвешенном и плотном слоях активного угля.

Биосорбер – резервуар, заполненный двумя слоями сорбционной загрузки: нижний слой псевдооживленный, верхний – плотный (рисунок 4.5). Активированный уголь не требует отдельной регенерации. Направление движения воды в биосорбере – снизу вверх. Скорость движения воды в нижнем слое составляет 9 м/ч, в верхнем – 3–5 м/ч.

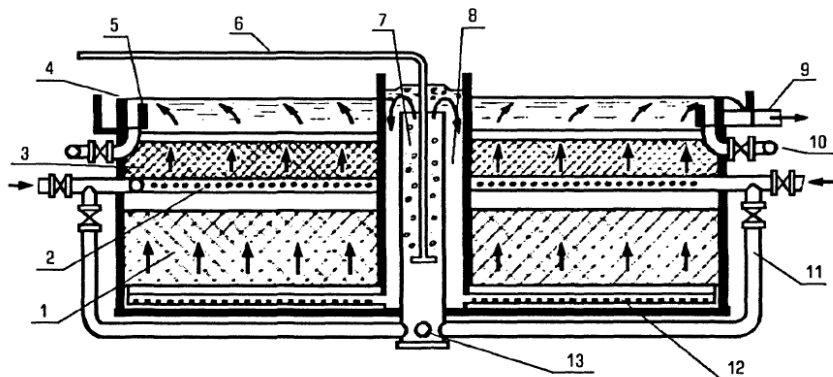


Рисунок 4.5 – Биосорбер [5]:

- 1 – взвешенный слой активного угля; 2 – дренажная система; 3 – плотный слой активного угля; 4 и 5 – водосливы очищенной и промывной воды; 6 – воздуховод; 7 – эрлифт; 8 – камера дегазации; 9 и 10 – отвод очищенной и промывной воды; 11 – циркуляционный трубопровод; 12 – распределительная система подачи воды; 13 – подача сточных вод

При коротком времени пребывания в биосорберах происходит интенсивное удаление органических веществ, в особенности таких консервативных, как СПАВ, нефтепродукты, вещества, определяющие высокие остаточные значения ХПК воды, очищенной в аэротенках. Одновременно осуществляется значительное удаление взвешенных веществ. Окислительная мощность биосорбера по БПК в 1,6–1,8 раза, а по ХПК в 4–6 раз выше окислительной мощности аэротенка [5].

4.4 Обеззараживание сточных вод

Обеззараживание сточных вод должно обеспечивать нормативные значения микробиологических, вирусологических и паразитологических показателей качества воды, отводимой в водоприемники сточных вод, а также уничтожение в сточных водах патогенных для человека бактерий, вирусов и паразитарных агентов.

Обеззараживание сточных вод, как правило, производится после биологической или физико-химической очистки с применением методов обработки ультрафиолетовым излучением, хлором или другими хлорсодержащими реагентами (хлорной известью ГОСТ 1692, гипохлоритом натрия, получаемым электролизом растворов хлоридов, непосредственно на очистных сооружениях, или приготовленным из товарного раствора по ГОСТ 11086, гипохлорита кальция по ГОСТ 25263), диоксидом хлора, озоном, другими дезинфектантами, допущенными к применению в соответствии с требованиями [15].

4.4.1 Обеззараживание сточных вод хлором, хлорсодержащими дезинфектантами и диоксидом хлора

Для обеззараживания сточной воды хлорированием используется хлорная известь, хлор и его производные, под действием которых бактерии, находящиеся в сточной воде, погибают в результате окисления веществ, входящих в состав протоплазмы клеток. Хлорирование является самым распространенным методом, так как хлор сравнительно недорогой продукт, не вызывает трудностей при использовании, активен и обладает широким спектром антимикробного действия, легко дозируется и контролируется. При наличии в хлорируемой воде аммонийного азота или азотсодержащих органических соединений (аминокислот) свободный хлор вступает с ними во взаимодействие, образуя хлорамины и другие хлорпроизводные. Хлор, присутствующий в воде в виде соединений с указанными веществами, рассматривают как связанный активный хлор. Оба вида хлора могут существовать в воде одновременно.

Механизм действия хлорактивных соединений заключается в следующем. При введении в воду хлора образуются хлорноватистая и соляная кислоты



Затем происходит диссоциация



Химической активностью и бактерицидным действием обладают как недиссоциированные молекулы HOCl, так и OCl⁻. Несмотря на высокую эффективность в отношении патогенных бактерий, хлорирование при дозе остаточного хлора 1,5 мг/л не обеспечивает необходимой эпидемической безопасности в отношении вирусов и хлоррезистентной микрофлоры.

Другим негативным свойством хлорирования является образование хлорорганических соединений и хлораминов (в первую очередь монохлораминов). Хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, способны аккумулироваться в донных от-

ложениях, тканях гидробионтов и, в конечном счете, попадать в организм человека. При обработке воды хлорактивными соединениями, обнаружены и выделены побочные продукты, обладающие высокой генотоксичностью: тригалогенметаны, хлорфенолы и др. Еще один негативный фактор в использовании хлора заключается в том, что даже небольшое количество остаточного хлора токсично для фауны водных объектов. Кроме того, образующиеся хлорорганические соединения вызывают загрязнение рек на значительных расстояниях вниз по течению.

Для обеззараживания и очистки воды в основном используют сжиженный хлор, сохраняемый под давлением в специальной таре, а также реагенты, содержащие активный хлор – хлорная известь, гипохлориты кальция и натрия, хлорамины, диоксид хлора, а также активный хлор, получаемый методом электролиза на месте потребления.

При хлорировании хлором или хлорсодержащими реагентами расчетная доза активного хлора принимается с учетом хлорпоглощаемости сточных вод при обеспечении остаточного хлора в очищенной воде после контакта не менее $1,5 \text{ мг/дм}^3$ [24]:

– после механической очистки – 10 мг/дм^3 ;

– после биологической, физико-химической и глубокой очистки – 3 мг/дм^3 .

Доза активного хлора может быть уточнена экспериментально.

При хлорировании жидким хлором его поставляют в баллонах массой до 100 кг и в контейнерах массой до 3000 кг, а также в железнодорожных цистернах вместимостью 48 т; для предотвращения испарения жидкий хлор хранится под давлением 0,6–0,8 МПа.

Ввиду малой растворимости жидкого хлора поступающий реагент предварительно испаряют. Затем хлор-газ растворяют в малом количестве воды, полученную хлорную воду перемешивают с обрабатываемой водой. Дозировка хлора происходит в фазе газообразного вещества, соответствующие газодозаторы называются хлораторами. Хлораторы разделяются на две основные группы – напорные и вакуумные. Вакуумные хлораторы обеспечивают большую безопасность работы персонала в хлораторной. Применяются хлораторы пропорционального и постоянного расхода, а также автоматические хлораторы, поддерживающие в воде заданную концентрацию остаточного хлора.

Приготовление раствора хлора в воде (хлорной воды) осуществляют в хлораторных. Для испарения хлора баллон или контейнер устанавливают на весы, по показаниям которых определяют количество жидкого хлора. Приготовление хлорной воды происходит в смесителе. Необходимый вакуум создается эжектором, с помощью которого хлорная вода подается в смеситель, где смешивается с обрабатываемой водой.

Хлорное хозяйство располагается в отдельном здании, где сблокированы склад хлора, испарительная, хлораторная и вспомогательные помещения.

Расходный склад хлора отделен от остальных помещений глухой стеной без проемов. Емкость расходного склада хлора не должна превышать 100 т. Жидкий хлор хранится на складе в баллонах или контейнерах, при суточном расходе хлора более 1 т – в танках вместимостью до 50 т с поставкой хлора в железнодорожных цистернах.

Склад размещают в наземном или полузаглубленном здании с двумя выходами с противоположных сторон здания. В помещении склада необходимо иметь емкость с нейтрализующим раствором сульфита натрия для быстрого погружения в нее аварийных контейнеров или баллонов.

В хлораторных устанавливаются дозаторы хлора с необходимой арматурой и трубопроводами. Помещение хлораторной должно отделяться от других помещений глухой стеной без проемов и оборудоваться двумя выходами, причем один из них через тамбур. Все двери должны открываться наружу, в помещении должна быть принудительная вытяжная вентиляция с забором воздуха у пола.

Трубопроводы хлорной воды выполняются из коррозионно-стойких материалов. В помещении трубопроводы прокладываются в каналах в полу или на кронштейнах, вне здания – в подземных каналах или футлярах из коррозионно-стойких труб.

Существенным недостатком метода обработки воды газообразным хлором является необходимость транспортировки и хранения больших объемов высокотоксичного жидкого хлора в баллонах, что представляет потенциальную опасность возникновения чрезвычайных аварийных ситуаций.

Использование порошкообразных реагентов хлорной извести CaCl_2O и гипохлорита кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ менее опасны в обращении. Процесс их подготовки и подачи значительно проще – практически аналогичен применению коагулянта.

Товарный продукт CaCl_2O или $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ растворяется в растворном баке с механическим перемешиванием. Количество баков должно быть не менее двух. Затем раствор разбавляется в расходном баке до концентрации 0,5–1,0 % и подается в воду дозаторами растворов и суспензий.

Учитывая коррозионную активность раствора, баки должны быть, изготовлены из дерева, пластмассы или железобетона; также трубопроводы и арматура должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов (полиэтилен или винипласт).

Хлорирование воды гипохлоритом натрия. Данный реагент получают на месте применения, используя установки электролиза раствора поваренной соли (рисунок 4.6).

В растворном баке приготавливается раствор NaCl , близкий к насыщенному (200–310) г/л. Для перемешивания применяются механические устройства, циркуляционные насосы или сжатый воздух.

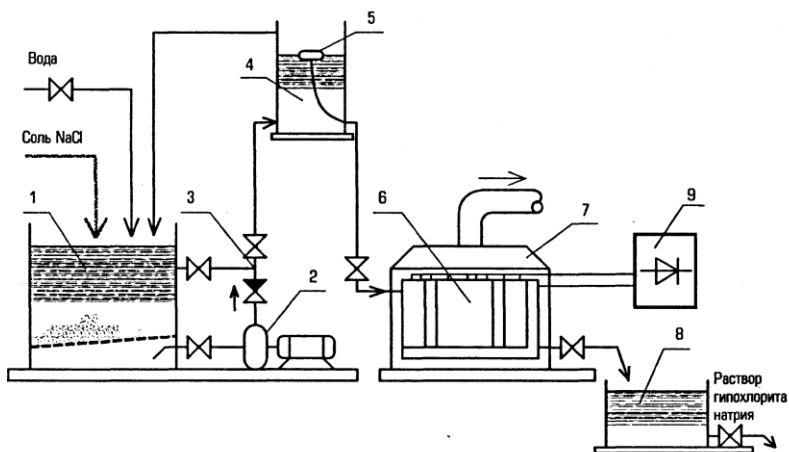


Рисунок 4.6 – Схема установки для получения гипохлорита натрия электролизом: 1 – растворный бак; 2 – насос; 3 – распределительный тройник; 4 – рабочий бак; 5 – поплавковый дозатор; 6 – электролизер; 7 – зонт вытяжной вентиляции; 8 – бак-накопитель гипохлорита натрия; 9 – источник постоянного тока

Электролизеры могут быть проточного или непроточного (используются наиболее широко) типа. Они представляют собой ванну с установленным там пакетом пластинчатых графитовых электродов, присоединенных к источнику постоянного тока. В результате реакции хлорноватистой кислоты с едким натром образуется гипохлорит.

Электролизеры устанавливаются в сухом, отапливаемом помещении.

В электролизной ванне должны быть трубопроводы для водяного охлаждения, над электролизером устанавливается зонт вытяжной вентиляции для удаления выделяющихся газов. Высотное расположение электролизера должно обеспечить поступление раствора в бак-накопитель самотеком. Бак-накопитель размещается в вентилируемом помещении, дозировка раствора гипохлорита в воду производится эжектором, насосом-дозатором или другим устройством для подачи растворов и суспензий.

Смесители хлорной воды с обрабатываемой водой подразделяются на три типа: ершовые (при расходе сточных вод до $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$), лоток Паршалля (рисунок 4.7) и в виде емкости с пневматическим или механическим перемешиванием.

Контактные резервуары предназначены для обеспечения расчетной продолжительности контакта очищенных сточных вод с хлором или гипохлоритом натрия. Они проектируются как первичные горизонтальные отстойники в количестве не менее двух, без скребков, на время пребывания сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске.

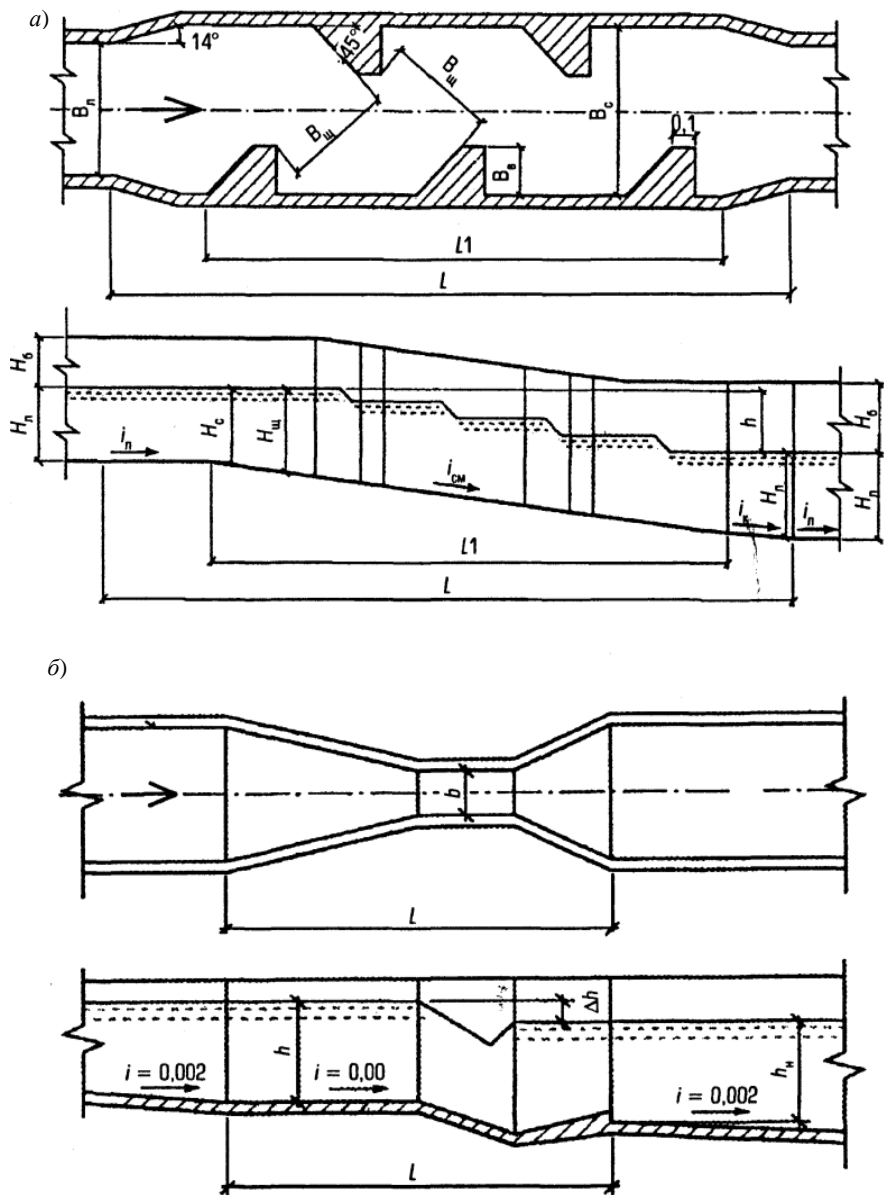


Рисунок 4.7 – Смесители:
 а – щеточного типа; б – типа лоток Паршалы

Разработано несколько типовых проектов контактных резервуаров, общий вид одного из них приведен на рисунке 4.8. В контактных резервуарах предусматривается периодическое (примерно раз в 5–7 сут) удаление образующегося осадка. Количество выпадающего осадка после сооружений биологической очистки составляет $0,5 \text{ дм}^3$ на 1 м^3 сточной воды при влажности осадка 98 % [24].

Хлорное хозяйство станции очистки сточных вод должно обеспечивать возможность увеличения расчетной дозы хлора в 1,5 раза без изменения вместимости склада.

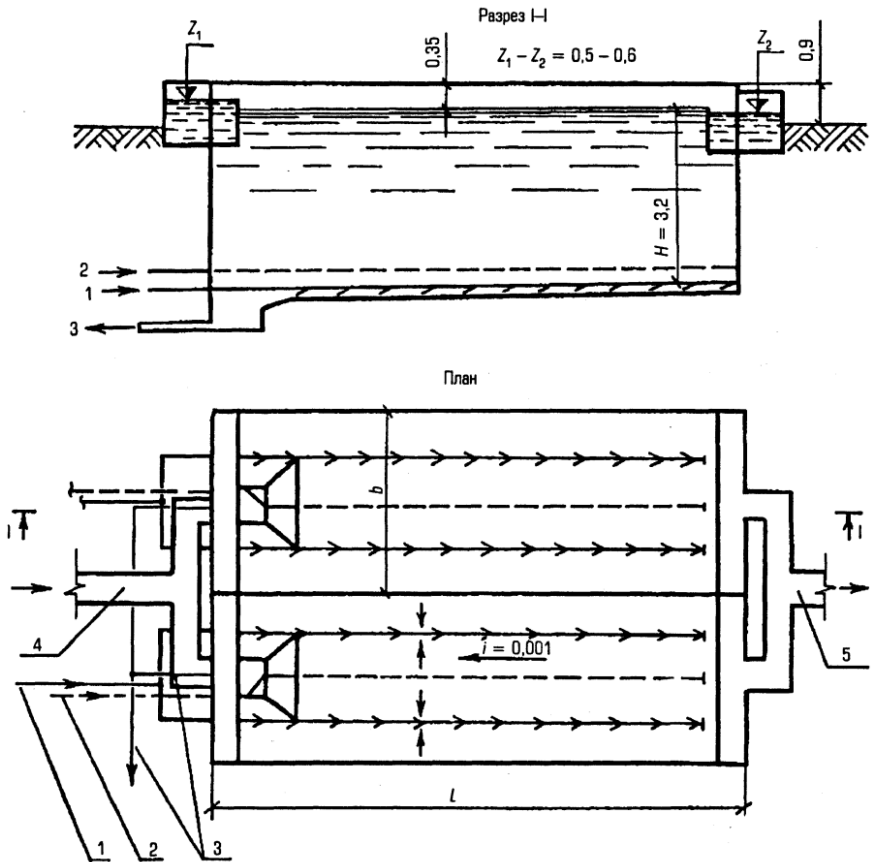


Рисунок 4.8 – Контактный резервуар для хлорирования сточных вод:
 1 – трубопровод технической воды; 2 – трубопровод сжатого воздуха; 3 – трубопровод опорожнения; 4, 5 – лотки подвода и отведения сточной воды

4.4.2 Озонирование

Озон (O_3) – состоящая из трехатомных молекул аллотропная модификация¹ кислорода. Как и хлор, озон является высокотоксичным, ядовитым газом.

Обладая высоким окислительно-восстановительным потенциалом, озон проявляет высокую реакционную активность по отношению к различного рода примесям воды, включая биологически неразлагаемые соединения и микроорганизмы. При взаимодействии озона с примесями воды протекает процесс их окисления. Одно из его преимуществ перед другими окислителями с гигиенической точки зрения – неспособность к реакциям замещения (в отличие от хлора). При озонировании в обрабатываемую воду не вносятся дополнительные примеси, а вероятность образования токсичных соединений значительно ниже, чем при хлорировании.

Бактерицидное действие озона объясняется его способностью нарушать обмен веществ в живой клетке за счет смещения равновесия восстановления сульфидных групп в неактивные дисульфидные формы. Озон очень эффективно обеззараживает споры, патогенные микроорганизмы и вирусы.

Интерес к применению озона для обработки сточных вод возник в связи с его потенциально меньшей опасностью для водоемов. Остаточный растворенный в воде озон полностью разлагается за 7–10 мин и в водоем не поступает. При обработке воды не образуются высокотоксичные галогенорганические соединения. Как правило, использование озона для обработки сточных вод имеет двойную цель – обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды; кроме того, разложившиеся, не вступившие в реакцию молекулы озона обогащают воду растворенным кислородом.

Доза озона и схема озонирования принимается на основе результатов инженерных изысканий с учетом способности смешивания озона с водой, скорости реакции и требуемой продолжительности контакта для полного или частичного обеззараживания. При отсутствии указанных данных доза озона для обеззараживания биологически очищенных сточных вод принимается от 5 до 35 мг/дм³, при продолжительности контакта от 5 до 30 мин. Содержание остаточного озона в сточной воде следует составлять от 0,1 до 1,0 мг/дм³.

Если озонирование применяется не только для обеззараживания, но и для доочистки сточных вод, то возможно увеличение дозы озона и продолжительности контакта. При озонировании биологически очищенных городских сточных вод с дозой озона около 20 г/м³ помимо полного обеззараживания происходит снижение ХПК воды на 40, БПК₅ – на 60–70, ПАВ на 90,

¹ Аллотропными модификациями называют вещества, сходные по составу, но различающиеся химическим строением (строением кристаллической решетки), и соответственно и обладающие разными физическими свойствами

окраски воды на 60 %, практически полностью пропадает запах. На реакции озона в воде влияет большое число факторов, и поэтому более точно его дозу определяется экспериментальным путем.

Озон быстро разлагается и не хранится, поэтому его получают на месте использования. Аппараты для получения озона называют *генераторами озона*, или *озонаторами*. В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым подводится переменный электрический ток высокого напряжения (5–25 кВ). Чтобы избежать образования электрической дуги, один, а иногда оба электрода покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрический барьер). В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный (тихий) разряд.

Выбор типа озонатора производится в зависимости от требуемой производительности, требований к энергоснабжению, расходу воды и воздуха (кислорода), которые декларируются производителем.

Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков – получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рисунок 4.9) включает четыре ступени:

- 1 – забор и сжатие воздуха;
- 2 – охлаждение;
- 3 – осушка и фильтрование воздуха;
- 4 – генерация озона.

Атмосферный воздух забирается через воздухозаборную шахту, оснащенную грубым фильтром, и компрессорами подается в специальные охладители, а затем на автоматические установки для осушки воздуха на адсорбенте – силикагеле. Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

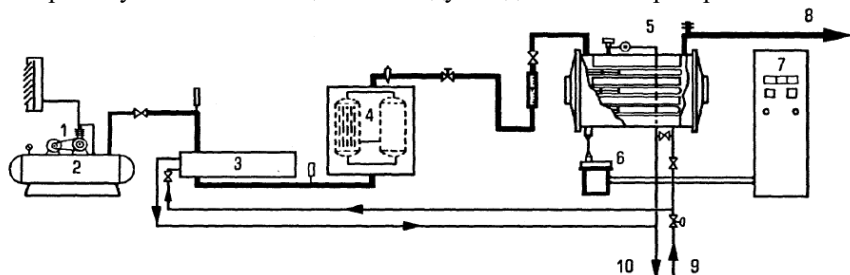


Рисунок 4.9 – Схема установки получения озона из воздуха:

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – осушительная установка; 5 – генератор озона; 6 – высоковольтный трансформатор; 7 – электрический щит управления; 8 – трубопровод озонозодушной смеси в контактную камеру; 9, 10 – трубопроводы подачи и отведение охлаждающей воды

Необходимым условием для выработки 40 г озона из 1 м³ воздуха и 80–100 г/м³ озона из 1 м³ кислорода является полное осушение используемого газа. Для получения 1 г озона из кислорода требуется 6–15 Вт/ч электроэнергии, из атмосферного воздуха – 10–30 Вт/ч.

В обрабатываемую сточную воду озон вводят различными способами:

- барботированием содержащего озон воздуха через слой воды;
- смешиванием воды с озоновоздушной смесью в эжекторах или в специальных импеллерных механических смесителях.

Основные типы контактных камер для обработки воды приведены на рисунке 4.10.

Выбор типа контактной камеры определяется расходами обрабатываемой воды и озоновоздушной смеси, необходимым периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

Двухсекционная барботажная контактная камера (рисунок 4.10, а) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и для их глубокой очистки.

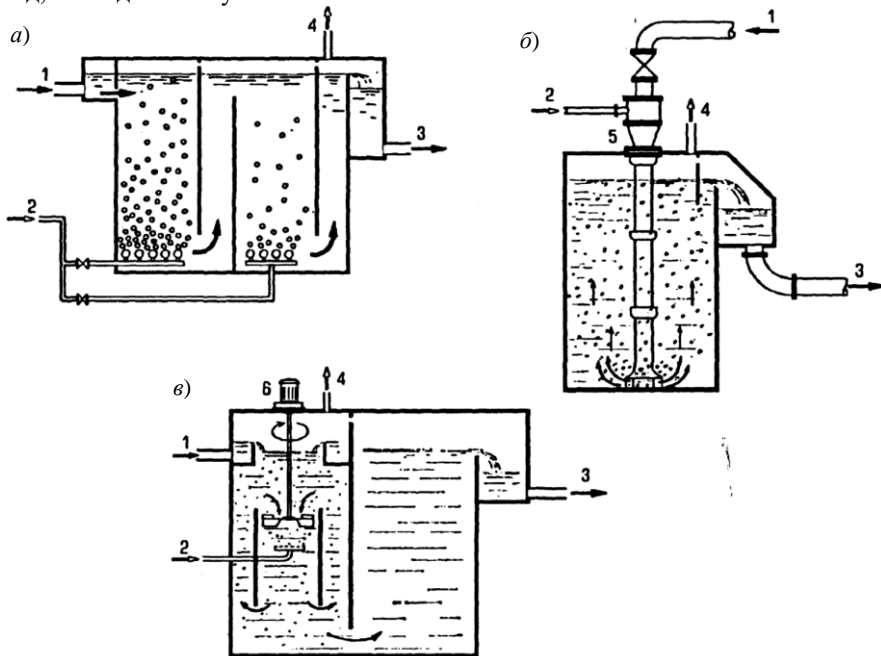


Рисунок 4.10 – Контактные камеры [7]:

а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором;

в – камера, оборудованная импеллером;

1 – подача сточной воды; 2 – подача озоновоздушной смеси; 3 – отведение обработанной воды;

4 – выпуск отработанной озоновоздушной смеси; 5 – инжектор; 6 – импеллерное устройство

Озоновоздушная смесь диспергируется в воде фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб или разных типов аэраторов, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Они обеспечивают получение пузырьков газа диаметром 1–4 мм. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

В контактной камере с инъекцией озоновоздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением (рисунок 4.10, б) водогазовая эмульсия подается инжектором ко дну контактного аппарата, откуда поднимается, вместе с обрабатываемой водой.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем – импеллером (рисунок 4.10, в), применяются, как правило, для небольших расходов воды. Озоновоздушная смесь подается в зону всасывания импеллера, который дробит ее на мелкие пузырьки и смешивает с обрабатываемой водой. Водогазовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение пузырьков газа по объему реактора.

Количество не использованного в процессе обработки воды озона может составлять 2–8 %. С целью предотвращения выбросов в атмосферу не прореагировавшего в контактных аппаратах озона в системе выпуска отработанной озоновоздушной смеси предусматривают установку деструкторов остаточного озона. Наибольшее распространение получили термические и термокаталитические деструкторы. Термический метод основан на способности озона быстро разлагаться при высоких температурах. В аппаратах термической деструкции озона обрабатываемый газ нагревают до температуры 340–350 °С и выдерживают в течение 3 с. Термокаталитический метод деструкции основан на быстром разложении озона на кислород и атомарный кислород при температуре 60–120 °С в присутствии катализаторов.

Эффективность озонирования зависит от дозы, продолжительности контакта, содержания органических веществ в воде и значения рН. При высоких значениях рН озон распадается более интенсивно, в результате чего происходит снижение обеззараживающего воздействия.

4.4.4 УФ-облучение

Наиболее распространенный безреагентный метод обеззараживания сточных вод – ультрафиолетовое (УФ) излучение, воздействующее на различные микроорганизмы, включая бактерии, вирусы и грибы.

Обеззараживающий эффект УФ-излучения обусловлен необратимым повреждением молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в сточной воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии излучения.

Степень инаktivации микроорганизмов УФ-излучением пропорциональна его интенсивности I , МВт/см², и времени облучения T , с. Произведение этих величин называется дозой облучения O , мДж/см², и является мерой бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизмам.

При проектировании установок УФ-обеззараживания сточных вод доза облучения принимается не менее 30 мДж/см².

Требования к допустимому содержанию взвешенных веществ в обеззараживаемых сточных водах указываются производителями. При отсутствии указанных данных концентрация взвешенных веществ в подаваемых на обеззараживание сточных водах не должна превышать 20 мг/дм³. Оптимальный режим работы УФ-излучателей характеризуется концентрацией взвешенных веществ менее 5 мг/дм³.

Данный метод обеззараживания наиболее применим на очистных сооружениях небольшой производительности (до 20 000 м³/сут). Уф-установки эффективны при обеззараживании сточных вод, прошедших качественную биологическую очистку или доочистку на крупнозернистых фильтрах, так как присутствие взвешенных веществ существенно снижает бактерицидный эффект.

При использовании ультрафиолетового излучения для обеззараживания сточных вод могут применяться излучатели со ртутными газоразрядными лампами низкого или среднего давления.

УФ-излучатели низкого давления имеют меньшее удельное энергопотребление при значительно большем объеме, требуемом для размещения излучателей. УФ-излучатели среднего давления более компактные, характеризуются значительно более высоким энергопотреблением и высокой температурой на поверхности излучателя, контактирующего со сточной водой.

Для обеззараживания сточных вод УФ-установки могут размещаться в открытых каналах и лотках, как правило, оборудованные УФ-излучателями низкого давления, или размещаться в закрытых системах с полностью заполненным поперечным сечением, как правило, оборудованные УФ-излучателями среднего давления.

Для обеззараживания сточных вод применяются установки напорного и безнапорного типа, которые, в свою очередь, бывают с погруженными в воду источниками излучения (лампами) и непогруженными.

На рисунке 4.11 приведена установка УДВ-6/6 производительностью 6 м³/ч.

Также выпускается оборудование для установок большей производительности безнапорного типа.

Выбор УФ-излучателей осуществляется исходя из требований по снижению содержания патогенных микроорганизмов и индикаторных организмов в обработанных сточных водах с учетом максимального расхода сточных вод, минимального уровня пропускания УФ-излучения, максимальной возможной концентрации взвешенных веществ.

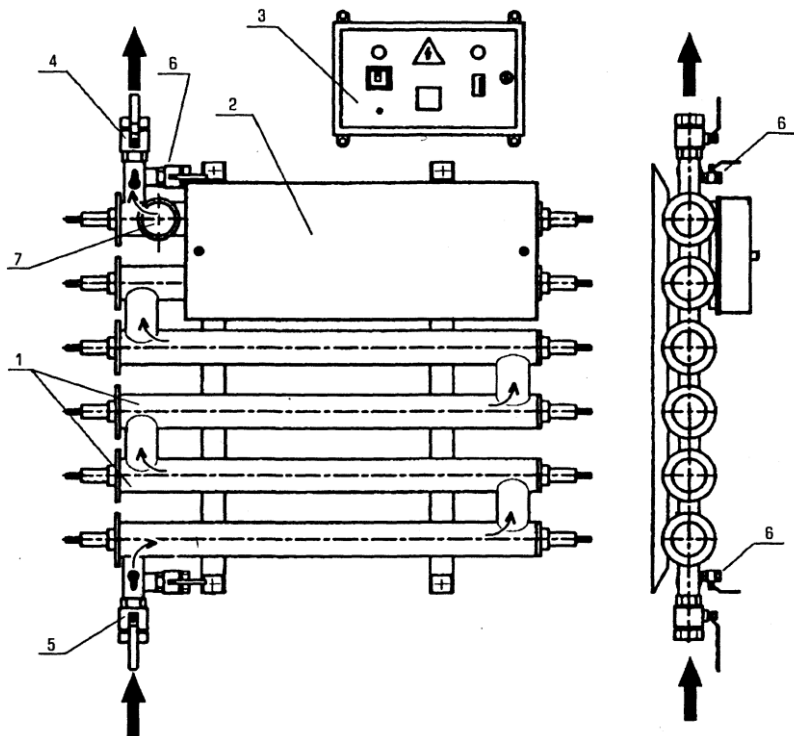


Рисунок 4.11 – Установка обеззараживания воды УФ-излучением УДВ-6/6 [7]:

- 1 – модули УФ-ламп; 2 – блок питания ламп; 3 – пульт управления установкой;
- 4 – штуцер отведения обработанной воды; 5 – штуцер подачи сточной воды;
- 6 – штуцера подключения установки для промывки ламп кислотой;
- 7 – иллюминатор со светофильтром

При неравномерном поступлении сточных вод на установку УФ-обеззараживания, а также при расходе сточных вод более $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, необходимо предусматривать несколько параллельных каналов или лотков для размещения УФ-излучателей.

Системы УФ-обеззараживания необходимо размещать таким образом, чтобы они сохраняли функциональность при любых климатических условиях, обеспечивали доступ к оболочке труб из кварцевого стекла и УФ-излучателям для монтажа и демонтажа, а также для очистки.

Системы УФ-обеззараживания, размещенные в открытых каналах, должны быть оснащены системой регулирования расхода сточных вод с точностью измерения уровня воды $\pm 1 \text{ см}$ с системой отключения при снижении уровня сточных вод ниже допустимого.

К положительным санитарно-технологическим аспектам применения УФ-излучения для обеззараживания сточных вод относятся:

- непродолжительное время контакта;
- исключение образования токсичных и канцерогенных продуктов;
- отсутствие пролонгированного биоцидного эффекта, оказывающего отрицательное влияние на водоем-приемник сточных вод;
- отсутствие необходимости хранения опасных материалов и реагентов.

Установки обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым излучением легко автоматизируются и быстро запускаются в работу, они достаточно просты в обслуживании.

4.4.5 Обеззараживание другими методами

Перманганат калия. Этот реагент взаимодействует с органическими и неорганическими веществами, что препятствует его дезинфицирующему действию, в результате оно оказывается намного ниже, чем у хлора и озона. Дезинфицирующее действие пироксида водорода также проявляется при высоких дозах.

Известь. Известкование применяется обычно в сочетании с удалением аммонийного азота из сточных вод отдувкой. Необходимый гигиенический эффект при обработке сточных вод достигается при использовании больших доз реагентов, что сопровождается образованием огромного количества осадка. Этот факт так же, как и высокая стоимость обеззараживания этим методом, существенно ограничивает применение известкования и делает его неприемлемым для использования на малых, средних и крупных станциях аэрации.

Феррит натрия. Твердая соль, содержащая железо в степени окисления (+6), служит одновременно окислителем и коагулянтом. Это один из самых эффективных неорганических дезинфектантов, однако, его использование связано с проблемами синтеза реагента и не вышло из стадии лабораторных испытаний. Мало распространенным реагентом является перуксусная кислота. Опытно-промышленные испытания в Англии показали ее эффективность.

Радиационное обеззараживание. Гамма-установки типа РХУНД работают по следующей схеме: сточная вода поступает в полость сетчатого цилиндра приемно-разделительного аппарата, где твердые включения (бинты, вата, бумага и т.п.) увлекаются вверх шнеком, отжимаются в диффузоре и направляются в бункер-сборник. Затем сточные воды разбавляются условно чистой водой до определенной концентрации и подаются в аппарат гамма-установки, в котором под действием гамма-излучения изотопа Co^{60} происходит процесс обеззараживания. Обработанная вода сбрасывается в канализационную систему городских сточных вод.

4.5 Насыщение сточных вод кислородом на выпуске очистных сооружений

Очищенные сточные воды при искусственной очистке отводятся по каналу к месту выпуска их в водный объект. Отводной канал обычно заканчивается береговым колодезем, из которого очищенные сточные воды через выпуск сбрасываются в водоем. Чем благоприятнее условия для перемешивания выпускаемых сточных вод с водами водного объекта, тем лучше используется самоочищающая способность водоема.

Выпуски сточных вод классифицируются

- по типу водоема: *речные, озерные и морские*;
- месту расположения: *береговые, русловые и глубинные*;
- конструкции: *затопленные, незатопленные, сосредоточенные, рассеивающие и эжекторные*.

Береговые сосредоточенные выпуски проектируются в виде открытых каналов, быстротоков, консольных сбросов, оголовков. При этом происходит весьма незначительное разбавление сбрасываемых сточных вод с водой водоема, поэтому использование самоочищающей способности водоемов очень низко. Такие выпуски применяют для сброса дождевых или малозагрязненных сточных вод. Чаще устраивают русловые рассеивающие выпуски (рисунок 4.12, б), обеспечивающие наилучшее смешение сточных вод с речной водой. Глубинные выпуски применяют при сбросе сточных вод в озеро, водохранилища, моря.

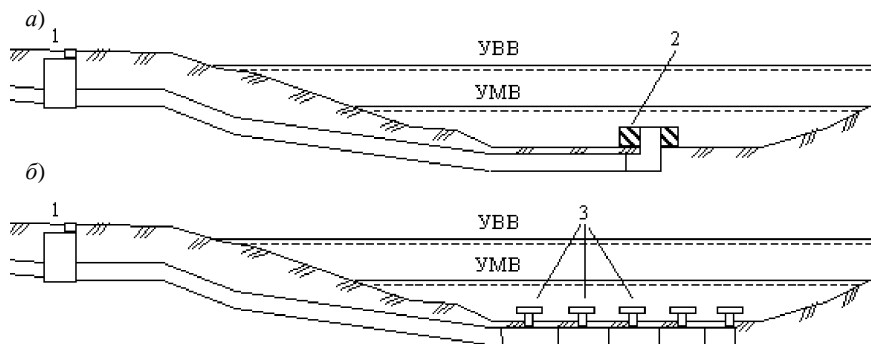


Рисунок 4.12 – Схемы русловых выпусков [5]:

- а – сосредоточенный; б – рассеивающий; 1 – береговой колодезь; 2 – бетонный оголовок; 3 – оголовки с насадками; УВВ – уровень высоких вод; УМВ – уровень меженных вод

Очищенные сточные воды практически не содержат растворенного кислорода. Это ухудшает состояние водного объекта, куда они выпускаются, и замедляет процессы их последующего биологического самоочищения.

Для дополнительного насыщения очищенных сточных вод кислородом перед выпуском их в водоем предусматривают специальные устройства:

– многоступенчатые водосливы-аэраторы, быстотоки – при наличии свободного перепада уровней между площадкой очистных сооружений и горизонтом воды в водном объекте;

– барботажные сооружения – в остальных случаях.

При проектировании **водосливов-аэраторов** принимается:

– водосливные отверстия в виде тонкой зубчатой стенки с зубчатым щитом над ней (зубья стенки и щита обращены один к другому остриями);

– высота зубьев – 50 мм, угол при вершине – 90°;

– высота отверстия между остриями зубьев – 50 мм;

– длина колодца нижнего бьефа – 4 м, глубина – 0,8 м;

– удельный расход воды на 1 м длины водослива – 120–160 л/с;

– напор воды на водосливе (от середины зубчатого отверстия) определяется по формуле

$$h_w = \left(\frac{q_w}{225} \right)^2, \quad (4.10)$$

где q_w – удельный расход сточных вод, м³/м·ч.

Число ступеней водосливов-аэраторов и величина перепада уровней на каждой ступени, необходимые для обеспечения потребной концентрации кислорода, в сточной воде на выпуске в водоем, определяются последовательным подбором

$$\frac{C_a - C_{ex}}{C_a - C_s} = \varphi_{20}^{N_{wa} K_T K_3}, \quad (4.11)$$

где C_a – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/дм³, принимаемая по справочным данным в зависимости от температуры и атмосферного давления;

C_{ex} – концентрация кислорода в очищенной сточной воде, которая должна быть обеспечена на выпуске в водный объект;

C_s – концентрация кислорода в сточной воде перед сооружением для насыщения, при отсутствии данных принимается равной нулю;

φ_{20} – коэффициент, учитывающий эффективность аэрации на водосливах, принимается в зависимости от перепада уровней;

N_{wa} – число ступеней водосливов;

K_T – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод,

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (4.12)$$

T_w – среднемесячная температура воды за летний период, °С;

K_3 – коэффициент качества воды: для городских сточных вод – 0,85, для производственных сточных вод – по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать 0,7.

При проектировании **барботажных сооружений** принимается:

- количество ступеней – три-четыре;
- аэраторы – мелкопузырчатые или среднепузырчатые;
- расположение аэраторов – равномерное по дну сооружения;
- интенсивность аэрации – не более $100 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

5 СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ МАЛОНАСЕЛЕННЫХ МЕСТ И ОТДЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Для очистки сточных вод небольших объектов (поселков, отдельно расположенных предприятий, зон отдыха, фермерских хозяйств, массивов индивидуальной застройки и т. п.) применяются **установки заводского изготовления или методы и сооружения биологической очистки сточных вод в условиях, близких к естественным** (поля фильтрации, поля подземной фильтрации, фильтрующие колодцы и траншеи, песчано-гравийные фильтры, вентилируемые площадки подземной фильтрации, биологические пруды, грунтово-растительные площадки).

5.1 Сооружения биологической очистки сточных вод в естественных условиях

5.1.1 Биологические пруды

Биологические пруды представляют мелкие земляные емкости прямоугольной формы с направлением движения воды к более длинной стороне. Их глубина зависит от типа аэрации и составляет:

- от 0,5–1,0 м – при естественной аэрации;
- 3,0–4,5 м (в зависимости от вида применяемых аэраторов) – при искусственной.

Биологические пруды классифицируются:

По назначению:

- как самостоятельные сооружения для биологической очистки городских, производственных и поверхностных сточных вод, содержащих органические вещества;
- для глубокой очистки сточных вод после полной биологической очистки при реконструкции очистных сооружений при их производительности, не превышающей 10000ЭН;
- для усреднения расхода сточных вод и /или осветления сточных вод (пруды-отстойники).

Количеству ступеней:

- *одноступенчатые* – биологические пруды в виде одиночной емкости;
- *многоступенчатые* – биологические пруды в виде каскада емкостей, через которые протекает очищаемая сточная вода.

Виду кислородного режима:

– *аэробные* – содержат кислород по всей глубине воды, что достигается за счет реаэрации и процессов фотосинтеза;

– *факультативные (аэробно-анаэробные)* – верхний слой насыщен растворенным кислородом, а в нижнем слое происходит анаэробное разложение донных осадков, имеют глубину от 1,2 до 2,5 м, наиболее часто применяются для глубокой очистки сточных вод после механической и неполной биологической очистки;

– *анаэробные* – растворенный кислород отсутствует, работают с очень высокой нагрузкой по органическим загрязнениям, основные биохимические процессы, протекающие в них, – это образование кислот и метановое брожение.

Условиям аэрации:

– *с естественной* – аэрация происходит за счет растворения воздуха при его поступлении в воду без применения механических или пневматических аэраторов;

– *искусственной* – аэрация происходит за счет применения механических или пневматических аэраторов.

Искусственная аэрация биологических прудов позволяет значительно интенсифицировать процессы биохимической очистки сточных вод, увеличить глубину воды, где могут быть созданы аэробные условия, до 3–4 м, что стабилизирует процесс очистки и позволяет сделать биопруды значительно компактнее.

Биологические пруды устраиваются на нефилтрующих или слабофилтрующих грунтах. При неблагоприятных в филтрационном отношении грунтах предусматривается устройство противофилтрационных экранов различных конструкций.

При проектировании биологических прудов руководствуются следующими *положениями*:

– их форма в плане принимается исходя из предусматриваемого типа и конструктивных особенностей аэраторов;

– принимается не менее двух параллельных секций с тремя-пятью последовательными ступенями в каждой, с возможностью отключения любой секции для чистки или профилактического ремонта без нарушения работы остальных;

– отметка лотка перепускной трубы из одной ступени в другую должна быть выше дна на 0,3–0,5 м;

– выпуск очищенной воды предусматривается через сборное устройство, расположенное ниже уровня воды на 0,15–0,20 м;

– в прудах с естественной аэрацией отношение длины к ширине должно быть не менее 20 (при меньшем отношении предусматриваются конструкции впускных и выпускных устройств, обеспечивающие движение воды по всему живому сечению пруда);

– в прудах с искусственной аэрацией соотношение сторон секций может быть любым, при этом аэрирующие устройства должны обеспечивать движение воды в любой точке пруда со скоростью не менее 0,05 м/с;

– размещаются с подветренной по отношению к жилой застройке стороны господствующего направления ветра в теплое время года;

– направление движения воды в пруде должно быть перпендикулярным к господствующему направлению ветра;

– рабочий объем пруда определяется по времени пребывания в нем среднесуточного расхода сточных вод с учетом вида применяемых аэрационных устройств.

При очистке в биологических прудах регламентируются концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку, величина которых не должна превышать:

– по взвешенным веществам – 150 мг/л;

– БПК₅ – 130 мг/дм³ – для прудов с естественной аэрацией, 330 мг/дм³ – с искусственной аэрацией.

При использовании прудов для глубокой очистки, в них отводится сточная вода после биологической или физико-химической очистки с БПК, не более чем 25 мг/дм³ – для прудов с естественной аэрацией и не более чем 50 мг/дм³ – для прудов с искусственной аэрацией.

Перед отведением в пруды предусматривается очистка сточных вод на решетках с прозорами не более 16 мм и отстаивание сточных вод в течение не менее 30 мин. После прудов с искусственной аэрацией предусматривается отстаивание очищенной воды в течение 2,0–2,5 ч.

Для повышения глубины очистки сточных вод и снижения содержания биогенных элементов рекомендуется использование в прудах посадок высшей водной растительности, размещаемой в последних секциях.

Хлорирование, как правило, предусматривается после прудов. В отдельных случаях (при длине прокладки трубопровода хлорной воды свыше 500 м или необходимости строительства отдельной хлораторной и т. п.) допускается хлорирование перед прудами.

Концентрация остаточного хлора в воде после контакта не должна превышать 0,5 г/м³ при хлорировании перед биологическими прудами.

Преимуществами очистки сточных вод в биологических прудах является:

– простота их устройства;

– высокая надежность работы при минимальном текущем обслуживании.

Недостатки:

– низкая скорость окислительных процессов;

– требует больших объемов воды и значительных площадей для их размещения;

– подвержены заилению и требуют периодической чистки от отложений.

5.1.2 Поля фильтрации

Поля фильтрации представляют собой спланированные участки земли, разделенные на отдельные участки (карты) распределительными и ограждающими земляными валиками. Процесс биологической очистки на них заключается в контакте сточных вод с микроорганизмами, находящимися в почвенном слое. При просачивании сточных вод в почву происходит их очистка за счет процессов биосорбции, биодеструкции и механического фильтрования.

Высота валиков, как правило, составляет не более 1 м, а ширина по верху – не менее 0,7 м. Величина заложения откосов – от 1:1,5 для супесей и легких суглинков до 1:2 для песка.

Для отведения очищенных сточных вод устраивается водоотводящая сеть, включающая дренаж, сборную сеть, отводящие линии и выпуски. В зависимости от характера грунта дренажная сеть устраивается в виде:

- *закрытого дренажа* – в слабопроницаемых грунтах (суглинках);
- *открытых осушительных каналов* – в сильнопроницаемых грунтах;

Применение полей фильтрации в Республике Беларусь допускается для очистки сточных вод, отводимых от объектов, расположенных вне населенных пунктов, если их расход не превышает 200 м³/сут, а дальность транспортирования очищенных сточных вод до водного объекта (приемника сточных вод) не превышает 1 км.

Площадки для расположения полей фильтрации выбираются с учетом следующих условий:

- рельеф должен быть спокойный и слабовыраженный с уклоном до 0,02;
- размещаются преимущественно на песках, супесях и легких суглинках;
- при расположении их ниже по течению потока подземных вод от сооружений забора подземных вод устраиваются на расстоянии, равном величине радиуса депрессионной воронки, но не менее 200 м – для легких суглинков, 300 м – для супесей и 500 м – для песков;

– при расположении полей фильтрации выше по течению потока подземных вод расстояние от них до сооружений для забора подземных вод принимается с учетом гидрогеологических условий и требований санитарной охраны источника водоснабжения.

Размещение полей фильтрации *не допускается* на территориях, граничащих с местами выклинивания водоносных горизонтов, а также при наличии трещиноватых пород и карстов, не перекрытых водоупорным слоем [24].

В соответствии с требованиями норм проектирования Республики Беларусь [24], сточная вода перед направлением на поля фильтрации должна отстаиваться в течение не менее 30 мин в септиках (при расходе до 25 м³/сут) или отстойниках.

При очистке хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод гидравлическая нагрузка может приниматься по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Гидравлическая нагрузка на поля фильтрации [24]

Грунты	Среднегодовая температура воздуха, °С	Допустимая нагрузка сточных вод, м ³ /га·сут, при залегании грунтовых вод на глубине, м		
		1,5	2,0	3,0
Легкие суглинки	0–3,5	–	41	45
	3,5–6,0	–	52	56
	6,0–11,0	–	56	64
	Свыше 11,0	–	64	75
Супеси	0–3,5	64	68	88
	3,5–6,0	72	80	96
	6,0–11,0	80	88	104
	Свыше 11,0	96	104	120
Пески	0–3,5	102	119	153
	3,5–6,0	127	148	191
	6,0–11,0	136	161	200
	Свыше 11,0	153	178	212

Размеры карт полей фильтрации определяются в зависимости от рельефа местности, общей рабочей площади полей, способа обработки почвы. Отношение ширины карты к длине составляет от 1:2 до 1:4; при обосновании допускается увеличение длины карты.

Требуемая площадь полей фильтрации определяется с учетом резервных карт, площадь которых не должна превышать полезную площадь полей фильтрации более чем на 20 %.

Кроме того, предусматривается *дополнительная площадь*, используемая для устройства сетей, дорог, оградительных валиков, древесных насаждений, принимаемая в зависимости от площади полей фильтрации:

- более 1000 га – до 25 %;
- 1000 га и менее – до 35 %.

Также учитывается режим эксплуатации сооружений в зимний период, когда происходит намораживание сточных вод на картах очистных сооружений.

Продолжительность периода намораживания определяется по количеству дней со среднесуточной температурой воздуха ниже минус 10 °С. Величина фильтрации сточных вод в период их намораживания определяется с учетом понижающего коэффициента в зависимости от типа грунта: для легких суглинков – 0,3, супесей – 0,45 и песков – 0,55 [24].

В настоящее время поля фильтрации можно отнести к типу сооружений, которые морально устарели в технологическом отношении, но они обладают рядом *преимуществ*: простота проектирования, строительства и эксплуатации. С учетом того, что устройство и эксплуатация таких сооружений не требуют применения электромеханического оборудования, практика их применения для объектов с небольшим расходом водоотведения остается довольно распространенной [1].

Существенным *недостатком* полей фильтрации является то, что их применение оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Довольно распространенной практикой является устройство полей фильтрации без водоотводящей сети и при значительных нагрузках велика вероятность фильтрации сточных вод, содержащих значительные количества биогенных веществ (азот, фосфор), в грунт и далее в нижележащие водоносные горизонты [1].

5.1.3 Фильтрующие колодцы

Фильтрующие колодцы применяются для очистки осветленных на септиках сточных вод при расходах до $1,0 \text{ м}^3/\text{сут}$ в песчаных и супесчаных грунтах или «серых» бытовых сточных вод, не содержащих фекальных примесей и жиров (сточных вод от умывальников, душевых или ваннных комнат).

Фильтрующие колодцы (рисунок 5.1) выполняются из кирпича, сборного или монолитного железобетона, чаще всего из железобетонных колец диаметром 1,5–2 м и глубиной до 2 м, а также могут быть в виде емкостей из полимерных материалов.

Стенки колодца – перфорированные. Отверстия диаметром 10–15 мм располагаются в нижней части стенки колодца на расстоянии друг от друга 100–120 мм по высоте и ширине. Днище засыпается слоем гравия, выше которого насыпается слой песка высотой 200 мм. Суммарная высота загрузки колодца фильтрующим материалом должна составлять не более 1,0 м.

Снаружи днища и стенки обсыпаются слоем щебня или гравия с крупностью зерен от 40 до 60 мм.

Вентиляция колодца осуществляется через трубу диаметром 100 мм с флюгаркой. Верх вентиляционной трубы должен быть расположен над поверхностью земли на высоте не менее 0,7 м.

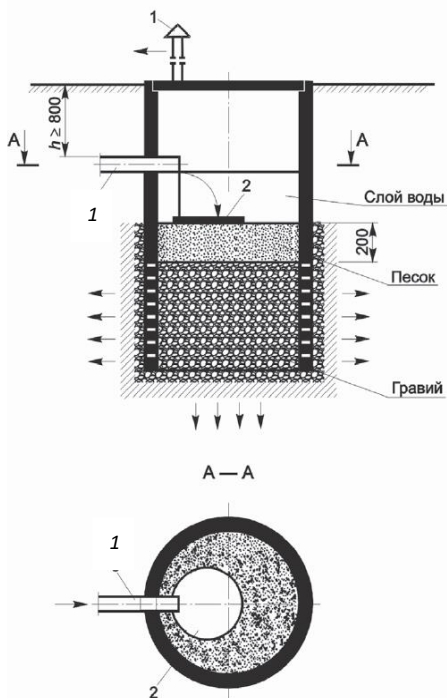


Рисунок 5.1 – Схема фильтрующего колодца:
1 – подающий трубопровод; 2 – бетонная плита

Допустимая гидравлическая нагрузка (поглощающая способность грунта) в пересчете на 1 м^2 фильтрующей поверхности, включающей площадь дна и перфорированных стенок, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, принимается :

- для грунтов, сложенных из гравия и крупнозернистого песка, – 0,15–0,20;
- песчаных грунтов – 0,10–0,15;
- для супесчаных грунтов – 0,05–0,10.

Для объектов сезонного действия приведенные параметры могут быть увеличены на 20 %.

К *преимуществам* очистки сточных вод в фильтрующих колодцах относится экономичность строительства и простота эксплуатации.

К *недостаткам*:

- ограниченная производительность;
- ограничение области применения только хорошо фильтрующими грунтами;
- значительный вынос загрязняющих веществ со сточной водой в грунт.

5.1.4 Поля подземной фильтрации

Поля подземной фильтрации применяются для полной биологической очистки сточных вод, при расходе сточных вод более $1,0 \text{ м}^3/\text{сут}$, в песчаных и супесчаных грунтах.

В состав сооружений с полями подземной фильтрации входит септик, дозирующая камера, распределительные трубопроводы и оросительная сеть (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Вид полей подземной фильтрации [1]

Сточные воды, предварительно осветленные в септиках, направляются в оросительную сеть и далее распределяются в грунте по площадке подземного фильтрования. При поступлении сточной воды в грунт происходит ее биологическая очистка (фильтрование).

Оросительная сеть из перфорированных труб диаметром 110 или 125 мм укладывается на слой подсыпки из гравия, шлака, щебня или крупнозернистого песка толщиной от 20 до 50 см.

Расстояние от поверхности земли до верха трубы должно составлять не менее 0,5 м, уклон – не менее 0,02.

На концах трубопроводов оросительной сети устанавливаются вентиляционные стойки диаметром 100 мм с флюгаркой на конце высотой не менее 0,7 м над поверхностью земли.

Допустимые нагрузки сточных вод на оросительные трубы, $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{сут})$, и расстояния между соседними оросительными трубами в зависимости от вида грунта и коэффициента фильтрации принимаются по таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Допустимые нагрузки сточных вод на оросительные трубы и расстояния между соседними оросительными трубами [24]

Вид грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Допустимая гидравлическая нагрузка на оросительные трубы, $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{сут})$	Расстояние между смежными трубами оросительной сети, м, не менее
Гравий:		0,012–0,025	2,0
мелкий	75–100		
средний	100–200		
крупный	200–300		
Песок крупнозернистый	75–100	0,006–0,020	2,5
гравелистый	25–75		
среднезернистый	10–25		
мелкозернистый	5–10		

Нагрузка на оросительные трубопроводы уменьшается в зависимости от среднегодового количества осадков путем умножения на коэффициент уменьшения нагрузки. При среднегодовом количестве осадков от 500 до 600 мм коэффициент уменьшения нагрузки принимается интерполяцией от 0,9 до 0,8, при количестве осадков более 600 мм – 0,8–0,7.

При устройстве подсыпки из крупнозернистого песка нагрузка на оросительные трубопроводы может быть увеличена на 20–50 %.

К *преимуществам* очистки сточных вод в полях подземной фильтрации относится экономичность строительства и простота эксплуатации.

Недостатки:

- потребность в значительных площадях;
- ограничение производительности фильтрующими свойствами грунта;
- подверженность кольматации (накоплению примесей и биомассы в фильтрующей загрузке, снижающей ее проницаемость);
- значительный вынос загрязняющих веществ в грунт [1].

5.1.5 Фильтрующие траншеи и песчано-гравийные фильтры

Фильтрующие траншеи и песчано-гравийные фильтры имеют схожее конструктивное исполнение, применяются для очистки предварительно осветленных сточных вод и устраиваются на слабофильтрующих грунтах (суглинок, глина). Принцип их работы основан на фильтрации сточных вод через слой загрузки из гравия, песка. Различие между фильтрующими траншеями и песчано-гравийными фильтрами заключается в геометрической конфигурации данных сооружений и их элементов.

Фильтрующие траншеи представляют собой искусственные углубления, заполненные крупнозернистым песком, в которые уложены оросительные и дренажные сети, обсыпанные мелким гравием или щебнем слоем до 20 см. Сверху слой крупнозернистого песка перекрывается слоем торфа или перегноя толщиной 0,5 м и местным грунтом (рисунок 5.3). К концам трубопроводов оросительной и дренажной сети присоединяются вентиляционные стояки диаметром 100 мм и высотой не менее 0,7 м над поверхностью земли и защитной флюгаркой над срезом вентиляционной трубы.

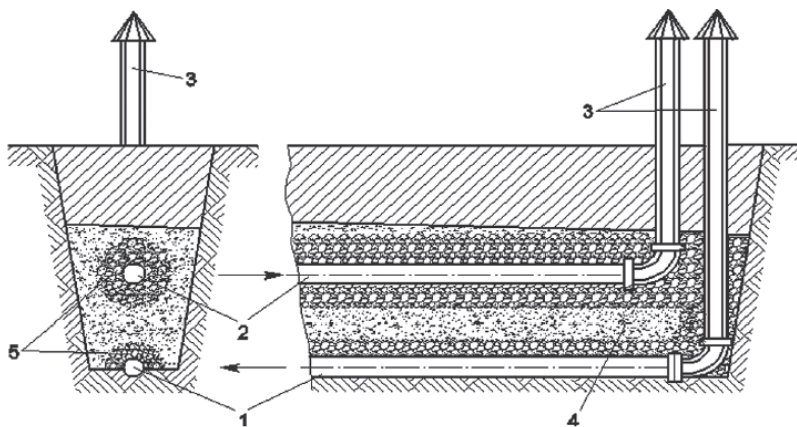


Рисунок 5.3 – Схема и вид фильтрующей траншеи:

1 – дренажная сеть; 2 – оросительная сеть; 3 – вентиляционные трубы; 4 – засыпка крупнозернистым песком; 5 – гравийная обсыпка.

При проектировании фильтрующих траншей принимается:

- ширина – не менее 0,5 м;
- длина – не более 30 м;
- расстояние по высоте между дренажной и оросительной сетью – 0,8–1,0 м;
- глубина заложения оросительной сети – не менее 0,5 м от поверхности земли;
- диаметр труб оросительной и дренажной сетей – 110–125 мм;

- уклон прокладки труб – 0,005;
- расстояние между осями отдельных параллельно расположенных траншей – не более 3 м.

Песчано-гравийные фильтры конструктивно сходны с фильтрующими траншеями, но расстояние между оросительными и дренажными трубопроводами принимается 1–1,5 м по высоте. Оросительная сеть выполняется в виде центрального трубопровода, из которого вода направляется в ряд распределительных трубопроводов, размещаемых в котловане параллельными линиями также на расстоянии 1–1,5 м (рисунок 5.4).

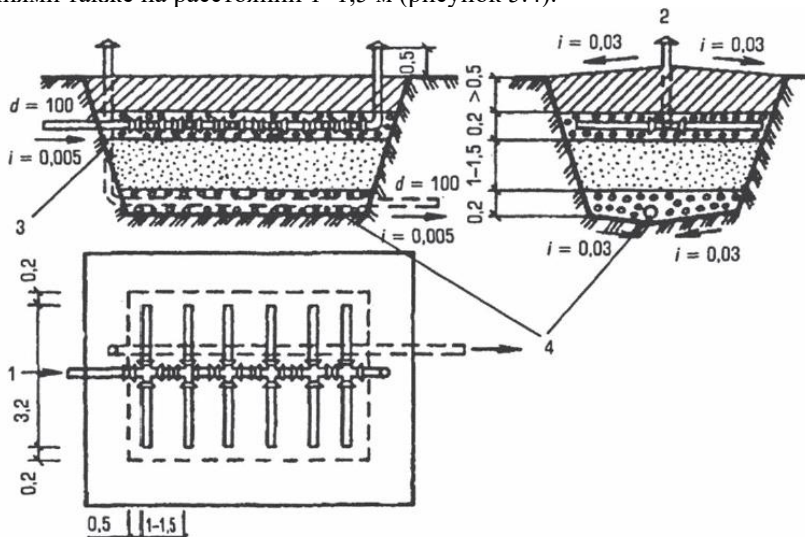


Рисунок 5.4 – Схема и вид песчано-гравийного фильтра:

- 1 – подача осветленной сточной воды; 2 – вентиляционные трубы; 3 – оросительная сеть; 4 – дренажная сеть

Песчано-гравийные фильтры проектируются одно- или двухступенчатыми. В качестве *основного загрузочного материала* используется:

- крупно- и среднезернистый песок – для одноступенчатых фильтров и для второй ступени двухступенчатых;
- гравий или щебень с размером фракций от 20 до 70 мм – для первой ступени двухступенчатых фильтров.

Загрузка фильтров по высоте должна быть выполнена из материала одинаковой крупности с устройством нижнего поддерживающего слоя высотой не менее 0,2 м.

Нагрузка на оросительные трубы песчано-гравийных фильтров и фильтрующих траншей, а также высота слоя загрузки принимаются по таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Гидравлическая нагрузка на поля фильтрации [24]

Сооружение	Высота слоя загрузки, м	Допустимая гидравлическая нагрузка на оросительные трубы, м ³ /м·сут
Одноступенчатый песчано-гравийный фильтр или вторая ступень двухступенчатого фильтра	1,0–1,5	0,08–0,10
Первая ступень двухступенчатого фильтра	1,0–1,5	0,15–0,20
Фильтрующая траншея	0,8–1,0	0,05–0,07
<i>Примечание</i> – Меньшие значения нагрузки на оросительные трубы соответствуют меньшим значениям высоты слоя загрузки.		

При удельном водоотведении на одного человека более 150 л/сут нагрузка на оросительные трубы может быть увеличена на 20–30 %. Для местности со средней годовой температурой воздуха выше 6 °С нагрузка на оросительные трубопроводы увеличивается на 20–30 %.

К отдельной разновидности сооружений относят **наземные песчано-гравийные фильтры**. По конструкции они очень близки к традиционным песчано-гравийным фильтрам, но отличаются тем, что песчано-гравийная фильтрующая загрузка располагается над уровнем поверхности земли в виде холма (рисунок 5.5).

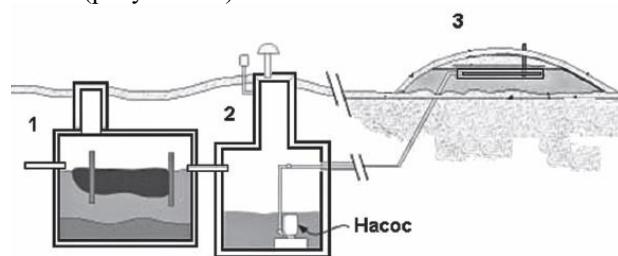


Рисунок 5.5 – Схема очистных сооружений с использованием наземных песчано-гравийных фильтров [1]:
1 – септик; 2 – насосная установка; 3 – наземный песчано-гравийный фильтр

Наземные песчано-гравийные фильтры получили распространение в зарубежной практике ряда стран, прежде всего США [26], где их так и называют – «система очистки «холм»». В системах водоотведения Беларуси и стран СНГ такие фильтры встречаются редко.

Как и другие сооружения такого типа, наземные песчано-гравийные фильтры предназначены для биологической очистки сточных вод, предварительно осветленных на септиках, путем фильтрования через слой загрузки из гравия, песка. Поэтому схема очистки, приведенная на рисунке 5.5, является типичной для большей части очистных установок небольшой производительности [1]. Так как фильтрующая загрузка расположена выше уровня

воды в септике, для подачи сточных вод в оросительный трубопровод применяется насосная установка, как правило, размещаемая в отдельном колодце. В фильтрующей загрузке дренажные трубопроводы не предусматриваются, так как очищенная сточная вода распределяется по значительной площади и отводится в слой почвы на прилегающей территории и нижележащий грунт. Вдоль подошвы сооружения могут предусматриваться ограждающие канавы для сбора профильтрованной воды.

К *преимуществам* очистки сточных вод в фильтрующих траншеях и песчано-гравийных фильтрах относится экономичность строительства и простота эксплуатации. Для сооружения таких конструкций в основном используются местные строительные материалы (грунт, песок, гравий).

К *недостаткам*:

- ограниченная производительность;
- значительный вынос загрязняющих веществ со сточной водой в грунт, особенно при высоком уровне грунтовых вод;
- в условиях низких температур песчано-гравийные фильтры подвержены промерзанию с уменьшением рабочей площади, через которую производится фильтрование;
- потребность в значительных площадях для размещения;
- ограничение производительности фильтрующими свойствами грунта на площадке строительства;
- подверженность кольматации.

5.1.6 Вентилируемые площадки подземной фильтрации

Вентилируемые площадки подземной фильтрации предназначены для биологической очистки предварительно осветленных в септиках сточных вод путем фильтрования в слое фильтрующей загрузки и грунте, устраиваются в песчаных, супесчаных и суглинистых грунтах, при расположении отметки подошвы фильтрующего основания выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м (рисунок 5.6). Принцип их работы близок к фильтрующим траншеям. Осветленная сточная вода распределяется оросительными лотками по фильтрующей загрузке, но не предусматривается дренажная система и отведение очищенной воды.

Существенным отличием является то, что в вентиляруемых площадках подземной фильтрации распределение сточных вод происходит в результате их излива с определенной высоты на фильтрующую загрузку. Благодаря аэрации происходит интенсификация процесса биологической очистки.

Вентилируемые площадки подземной фильтрации устраиваются в песчаных, супесчаных и суглинистых грунтах на искусственном фильтрующем основании с толщиной слоя от 0,4 до 0,5 м, причем низ фильтрующего основания располагают выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м.

В качестве материала фильтрующей загрузки используется гравий, шлак, щебень размером от 10 до 15 мм. Над слоем фильтрующей загрузки устраивается вентилируемая полость за счет перекрытий из П-образных железобетонных плит или лотков. Высота воздушного слоя над фильтрующей загрузкой должна быть не менее 0,4 м.

Распределение сточных вод по поверхности фильтрующей загрузки предусматривается лотками из труб круглого сечения с диаметром не менее 150 мм. При ширине площадки более 1,5 м устраивается несколько линий распределительных лотков, укладываемых параллельно на расстоянии между лотками не более 1 м. Для притока воздуха в вентилируемую полость площадки подземной фильтрации устраиваются вентиляционные стояки из труб диаметром не менее 100 мм, размещаемые по краям площадки. Полость площадки подземной фильтрации над слоем фильтрующей загрузки должна вентилироваться через стояки, вытяжная часть которых выводится через плиту перекрытия на высоту не менее 0,5 м над уровнем земли.

Площадь вентилируемых площадок подземной фильтрации принимается в зависимости от гидравлической нагрузки, приведенной в таблице 5.4.

При среднесуточной норме водоотведения более 150 л/(чел.сут), а также для объектов сезонной эксплуатации допустимая гидравлическая нагрузка, указанная в таблице 5.4, может быть увеличена на 20 %.

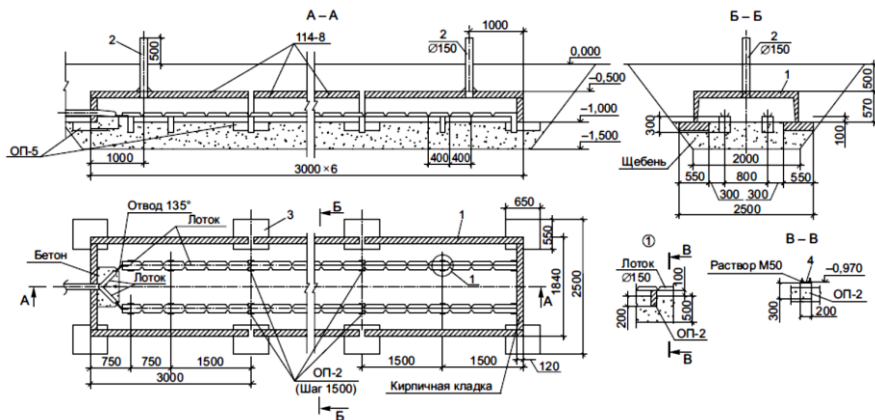


Рисунок 5.6 – Схема вентилируемых площадок [1]:

- 1 – железобетонная плита перекрытия; 2 – вентиляционная труба; 3 – опорная подушка;
4 – лоток из труб

Таблица 5.4 – Допустимая гидравлическая нагрузка на вентилируемые площадки подземной фильтрации [24]

Грунт	Расстояние от отметки подошвы фильтрующей площадки до отметки максимального уровня грунтовых вод, м			
		1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0

Пески	0,110	0,130	0,150	0,180
Супеси	0,040	0,050	0,060	0,070
Легкие суглинки	0,015	0,020	0,025	0,030

Преимущества вентилируемых площадок подземной фильтрации:

- простота конструкции и эксплуатации;
- за счет аэрации могут быть увеличены нагрузки и, соответственно, уменьшены площади в сравнении с другими сооружениями подземной фильтрации.

Недостатки:

- более высокие капитальные затраты на строительство в сравнении с альтернативными вариантами (для строительства требуются железобетонные конструкции);
- подверженность кольматации;
- значительный вынос загрязняющих веществ со сточной водой в грунт.

5.1.7 Грунтово-растительные площадки

Грунтово-растительные площадки предназначены для биологической очистки предварительно осветленных в септиках сточных вод путем фильтрования в слое фильтрующей загрузки, в верхней части которой высажены влаголюбивые растения. Содержание взвешенных веществ в поступающей сточной воде не должно превышать 100 мг/л [24].

Фильтрующий слой устраивается высотой не менее 0,5 м из песка устойчивого к суффозии с эффективным размером зерен 0,2–0,4 мм. Коэффициент фильтрации загрузки должен быть в пределах от 10^{-4} до 10^{-3} м/с [24].

В настоящее время к **грунтово-растительным площадкам** относится большое количество сооружений, различающихся по конструкции и принципу действия:

Первая группа – *пруды*, как правило, небольших и средних размеров, в которых очистка сточных вод производится с применением биоценоза свободно плавающих растений, растений, произрастающих на грунте под водой и имеющих надводную часть, а также растений, произрастающих на берегу пруда.

Вторая группа – *сооружения, использующие для очистки сточных вод слой фильтрующей загрузки и влаголюбивую растительность*, которая высаживается на почвенном слое над фильтрующей загрузкой.

Сооружения первой группы по принципу действия близки к биологическим прудам, а второй – к сооружениям очистки сточных вод в грунте.

Грунтово-растительные площадки имеют собственную классификацию в зависимости от *направления движения фильтрационного потока сточных вод в грунте*: площадки с горизонтальным и вертикальным потоками.

При использовании *площадок с горизонтальным потоком* предварительно осветленная в септике вода может подаваться самотеком на пло-

щадку с фильтрующей загрузкой (мелкий гравий, крупнозернистый песок). Распределение сточной воды по площадке производится путем устройства слоя фильтрующего материала с большой проницаемостью (щебень), расположенного наклонно во внутренней части сооружения. Дренаж, который собирает профильтрованную воду, выполняется аналогичным способом с противоположной стороны сооружения (рисунок 5.7). Таким образом, фильтрационный поток в фильтрующей загрузке направлен от распределительного устройства к дренажу со снижением уровня воды в грунте.

На площадках с вертикальным потоком предварительно осветленная в септике вода забирается насосом и подается в верхнюю распределительную систему трубопроводов, которая распределяет сточную воду по площади фильтрационной загрузки. Профильтрованная вода собирается дренажными трубопроводами, уложенными в нижней части загрузки (рисунок 5.8).

В грунтово-растительных площадках не предусматривается последующее просачивание воды, профильтрованной через загрузку, в нижележащие слои грунта. Для предотвращения просачивания фильтрующая загрузка размещается над слоем гидроизоляции.

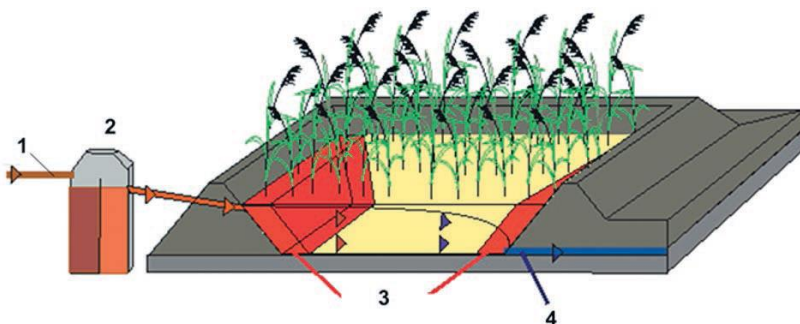


Рисунок 5.7 – Схема грунтово-растительной площадки с горизонтальным потоком:

1 – подача сточной воды на очистку; 2 – септик; 3 – распределительная и дренажная система из щебня; 4 – отведение очищенной сточной воды

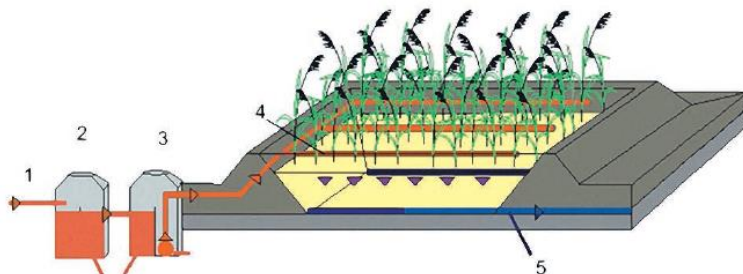


Рисунок 5.8 – Схема грунтово-растительной площадки с вертикальным

ПОТОКОМ:

1 – подача сточной воды на очистку; 2 – септик; 3 – насосная установка; 4 – распределительная система; 5 – дренажная система и отведение очищенной сточной воды

Гидроизоляция выполняется:

- из водонепроницаемых полимерных пленок, устойчивых к ультрафиолетовому излучению, толщиной не менее 1,0 мм;
- уплотненных глинистых материалов, уложенных в два слоя толщиной не менее 0,3 м с достижением коэффициента фильтрации не более 10–8 м/с;
- размещением загрузки грунтово-растительной площадки в емкостных сооружениях из бетонных или полимерных конструкций.

Гидроизоляция может не предусматриваться при размещении грунтово-растительных площадок в грунтах с низким коэффициентом фильтрации (менее 10^{-8} м/с), если толщина слоя водонепроницаемого грунта превышает 0,6 м.

К отдельному виду грунтово-растительных площадок можно отнести **сооружения, устраиваемые на склонах**, которые по принципу работы близки к площадкам с горизонтальным потоком: сточная вода подается из септиков самотеком, при этом фильтрационный поток направлен параллельно поверхности земли (рисунок 5.9).

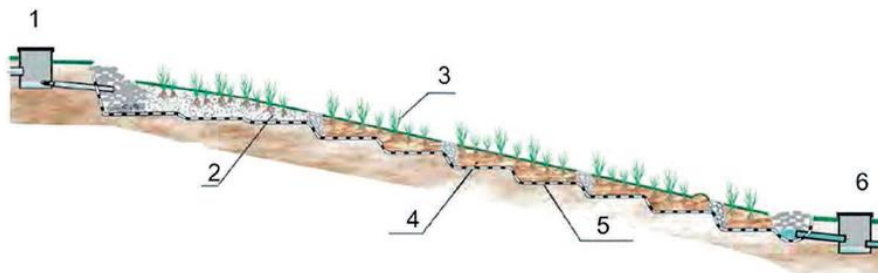


Рисунок 5.9 – Схема грунтово-растительной площадки с наклонным потоком:
1 – септик; 2 – гравийно-песчаная смесь; 3 – растения; 4 – смесь растительного грунта с песком;
5 – полимерная пленка; 6 – отведение очищенной сточной воды

При проектировании грунтово-растительных площадок руководствуются следующими принципами:

Для площадок с горизонтальным потоком принимается:

- нагрузка на площадки – не более: 12 г/(м²·сут) – по БПК₅, 16 г/(м²·сут) – по ХПК;
- гидравлическая нагрузка – не более 0,04 м³/(м²·сут);
- площадь – не менее 20 м²;
- длина фильтрующей загрузки – от трех до шести метров;
- в сборном колодце очищенной воды предусматривается устройство для регулирования уровня воды в дренажной сети;

– подводящие распределительные и отводящие устройства предусматриваются из щебеночной или гравийной загрузки, которые должны быть устроены таким образом, чтобы поток сточных вод направлялся равномерно через их поперечное сечение в фильтрующую загрузку без образования потоков вне загрузки.

Для площадок с вертикальным потоком принимается:

– нагрузка на площадки – не более: 15 г/(м²·сут) – по БПК₅, 20 г/(м²·сут) – по ХПК;

– гидравлическая нагрузка – не более 0,08 м³/(м²·сут);

– площадь – не менее 20 м²;

– дренажный слой из гравия с размерами зерен 2–8 мм с коэффициентом фильтрации не менее 10⁻³ м/с;

– высота дренажного слоя – не менее 0,2 м;

– коэффициент фильтрации дренажного – более 10–3 м/с;

– подводящие распределительные и отводящие устройства предусматриваются из перфорированных труб с диаметром отверстий не менее 8 мм.

Преимущества груново-растительных площадок:

– простота конструкции;

– отсутствие сложных систем управления;

– широкое использование местных строительных материалов (грунт, песок, гравий).

Недостатки:

– для их размещения требуются значительные площади;

– капитальные затраты на строительство в сравнении с сооружениями с очисткой сточных вод в естественных условиях больше;

– подверженность кольматации.

5.2 Установки заводского изготовления

Компактные установки заводского изготовления предназначены для биологической очистки сточных вод с использованием свободно плавающих (активного ила) или прикрепленных форм (биопленка) микроорганизмов. Конструктивные особенности установок определяются классом очистки и формой используемых микроорганизмов.

Компактные установки заводского изготовления бывают двух типов:

– *открытого* – изготавливаются в виде открытых емкостей, монтируемых в зданиях или вне их;

– *закрытого* (в виде колодцев) – изготавливаются в виде закрытых емкостей, размещаемых в грунте, реже в зданиях.

Для определения существенных различий в установках заводского изготовления может быть использована классификация Немецкого института

строительной техники [27], согласно которой они подразделяются на 5 классов в зависимости от степени очистки сточных вод:

- 1) класс *C* – установки с удалением органических веществ;
- 2) класс *N* – установки с удалением органических веществ и дополнительной нитрификацией;
- 3) класс *O* – установки с удалением органических веществ и дополнительной денитрификацией;
- 4) класс *C, N, D, +P* – установки с удалением органических веществ, денитрификацией и дополнительным удалением фосфора;
- 5) класс *C, N, D, +H* – установки с удалением органических веществ, денитрификацией и дополнительной гигиенизацией.

Параметры степени очистки, которые обеспечиваются в установках различных классов приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Параметры очищенной сточной воды, обеспечиваемые различными классами очистных установок [2]

Показатель	Класс				
	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>C, N, D, +P</i>	<i>C, N, D, +H</i>
ХПК, мг/дм ³	150*/100**	90*/75**	90*/75**		
БПК ₅ , мг/дм ³	40*/25**	25*/15**	25*/15**		
Аммоний ион, мг/дм ³		10**	10**		
Азот неорганический, мг/дм ³			25**		
Фосфор общий, мг/дм ³				2*	
Фекальные колиформные микроорганизмы в 100 мл					100*
Взвешенные вещества, мг/дм ³	75*	50*	50*		
<i>Примечания</i>					
* Значения, полученные на основании одиночной пробы.					
** Значения, полученные на основании смешанной пробы за 24 ч.					

Технологии, применяемые в компактных установках заводского изготовления, аналогичны способам очистки, используемым на очистных сооружениях большой производительности, с тем отличием, что из-за требований по обеспечению компактности технологические емкости блокируются и унифицируются по типу применяемого механического оборудования (насосы, эрлифты).

Установки класса *C* (с удалением органических веществ) обеспечивают снижение содержания органических веществ, оцениваемых по БПК или ХПК, и не предназначены для глубокого удаления биогенных элементов.

Происходит лишь частичное удаление азота и фосфора при осаждении нерастворимых примесей и в процессе ассимиляции при росте биомассы активного ила или биопленки. Процессы, происходящие в таких устройствах, аналогичны процессам в аэротенках или биофильтрах (рисунок 5.10). В большинстве случаев перед поступлением на установки класса *C* предусматривается предварительное отстаивание.

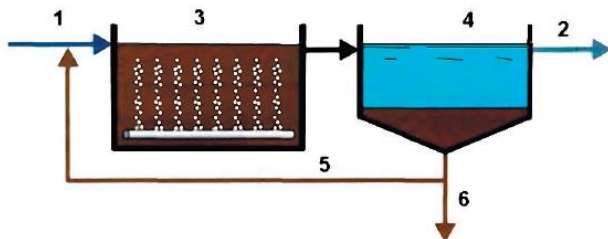


Рисунок 5.10 – Схема очистки сточных вод в системах с активным илом [1]:

1 – подведение исходной сточной воды; 2 – отведение очищенной воды; 3 – аэротенк (аэрируемая емкость); 4 – отстойник; 5 – рециркуляция возвратного активного ила; 6 – отведение избыточного активного ила

Установки класса *N* (с удалением органических веществ и дополнительной нитрификацией) по конструктивному исполнению близки к установкам класса *C*. Основное отличие – время пребывания сточных вод в аэрируемой емкости, которое должно быть достаточным не только для окисления органических веществ микроорганизмами, но и для нитрификации (окисления аммонийного азота).

Микробиологическая нитрификация представляет собой двухстадийный процесс окисления аммония до нитрита и далее нитрита до нитрата. На первой стадии окисление аммония осуществляется бактериями *Nitrosomonas*, далее полученный нитрит перерабатывается в нитрат бактериями *Nitrobacter*. Интенсивное окисление аммонийного азота начинается только после снижения концентрации БПК₅ до 25–30 мг/л, так как при большей концентрации биоразлагаемых органических веществ микроорганизмы-нитрификаторы оказываются в угнетенном состоянии по сравнению с гетеротрофными микроорганизмами. В связи с этим объем аэрационных камер у установок класса *N* при одинаковой производительности должен быть в два-три раза больше, чем у установок класса *C*.

Установки класса *D* (с удалением органических веществ и дополнительной денитрификацией) обеспечивают снижение содержания органических веществ и более глубокое удаление соединений азота.

Процесс биологической денитрификации основан на деструкции ионов нитратов при дыхании микроорганизмов активного ила (биопленки) с поглощением связанных форм кислорода и выделением газообразного азота.

Если нитрификация осуществляется за счет жизнедеятельности только специализированных нитрифицирующих бактерий, то значительная часть бактерий активного ила в состоянии использовать связанный кислород нитратов как источник дыхания, и таким образом обеспечивать процесс денитрификации. Это упрощает эксплуатацию очистных сооружений, так как отсутствует необходимость выращивания специальной микрофлоры.

Установки такого типа в основном работают с использованием принципа предварительной денитрификации. При таком устройстве очистных сооружений исходная сточная вода, возвратный активный ил и поток внутренней рециркуляции иловой смеси из нитрификатора перемешиваются в денитрификаторе (рисунок 5.11). При этом организация внутренней циркуляции становится необходимой для подачи получаемого нитрата в денитрификатор. Такая схема функционирования очистных сооружений является классической и весьма распространена в мировой практике [1].

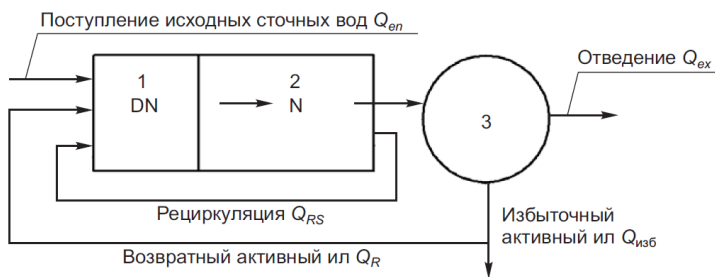


Рисунок 5.11 – Схема предварительной денитрификации [2]:
1 – DN-денитрификатор; 2 – N-нитрификатор; 3 – вторичный отстойник

Степень удаления нитрата в рассматриваемой схеме пропорциональна степени рециркуляции. В среднем при расходе циркуляции в 200 % удаление азота составляет примерно 70 % с учетом потребности в азоте на ассимиляцию при росте клеток активного ила [2]. Увеличением степени рециркуляции можно добиться большего удаления нитратов, однако это ведет к значительному увеличению расхода электроэнергии для перекачивания иловой смеси. В отличие от установок классов C и N, в установках класса D должна быть дополнительная емкость с аноксидными условиями для денитрификации. Рециркуляция иловой смеси из аэрируемой камеры в денитрификатор осуществляется, как правило, эрлифтами, работа которых обеспечивается подачей воздуха от компрессора, предназначенного также для аэрации иловой смеси.

В установках класса C, N, D, +P (с удалением органических веществ, денитрификацией и дополнительным удалением фосфора) в дополнение к процессам удаления органических веществ и денитрификации предусмотрено и биологическое удаление фосфора, которое основано на выдерживании микроорганизмов активного ила со сточной водой в анаэробных условиях. В этих условиях происходит выделение фосфора из клеток микроорганизмов в сточную воду. При последующей обработке иловой смеси в аэробных условиях происходит интенсивное поглощение фосфора микроорганизмами из сточной воды, после чего поглощенный фосфор вместе с избыточным активным илом удаляется из сооружений.

Для эффективного удаления фосфора из сточной воды необходима емкость с анаэробными условиями, т.е. среда, в которой отсутствуют кислород, как в свободном виде, так и в связанном.

На рисунке 5.12 приведен пример установки данного класса.

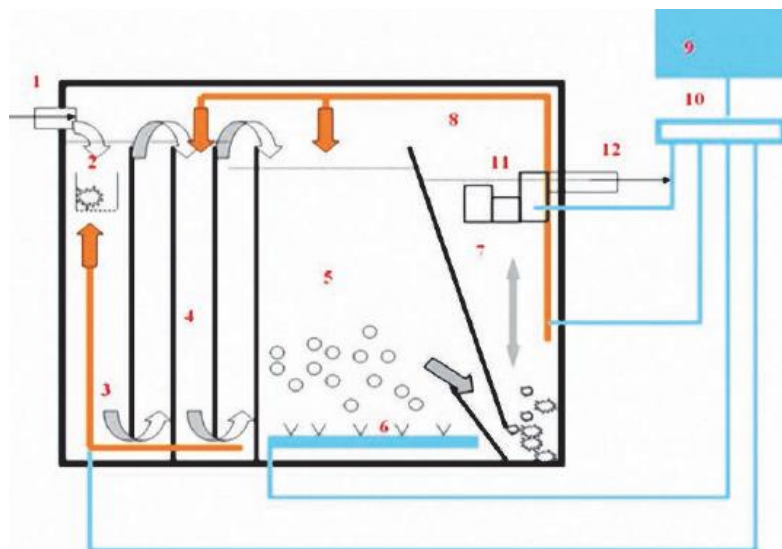


Рисунок 5.12 – Схема установки для очистки сточных вод с денитрификацией и дополнительным удалением фосфора:

- 1 – подведение исходной сточной воды; 2 – решетка; 3 – анаэробная камера; 4 – аноксичная камера; 5 – аэробная (аэрируемая) камера; 6 – аэратор; 7 – зона вторичного отстаивания; 8 – эрлифт; 9 – компрессор; 10 – система распределения воздуха; 11 – регулятор расхода; 12 – отведение очищенной воды

Класс C, N, D, +P установки с удалением органических веществ, денитрификацией и дополнительной гигиенизацией. Кроме очистки сточных вод от органических веществ и денитрификации установки такого рода

выполняют еще и функцию обеззараживания воды, – как правило, с помощью ультрафиолета, для чего оснащены дополнительным блоком.

Подбор установок заводского изготовления производится по данным производителей на основании: расчетного расхода сточных вод; параметров исходной сточной воды; требований к степени очистки.

К *преимуществам* установок заводского изготовления относятся:

- высокая степень очистки при компактности исполнения, что позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду и получить очищенную сточную воду, которая может использоваться в технических целях (полив и т. п.);

- упрощение проектирования и строительства, поскольку тип установки выбирается по производительности, и после поставки и монтажа к нему подключаются коммуникации.

Недостатки:

- высокая стоимость оборудования;
- потребность в техническом обслуживании (удаление избыточного активного ила, обслуживание компрессора);
- потребность в подведении и потреблении электроэнергии.

6 ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

6.1 Свойства осадков сточных вод и схемы для их обработки

6.1.1 Состав и свойства осадков сточных вод

В процессе очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются осадки. В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Классификация осадков сточных вод

Группы	Типы осадков	Сооружения и оборудование, отделяющие осадки
<i>Первичные</i> – грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле.		
I	Грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Тяжелые	Песколловки
III	Плавающие	Жировки, отстойники
IV	Сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
<i>Вторичные</i> – примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу.		
V	Сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90–85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80–40 %	Иловые площадки, вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги и др.
IX	Сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5–40 %	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки грубые (отбросы) задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. Состав отбросов включает: бумагу (65 %); тряпье (25 %); древесину, пластик (4 %); другие отбросы (6 %). Переработка этих отбросов может осуществляться в *метантенках* или направляться на *компостирование* для получения удобрения вместе с мусором.

Осадки тяжелые: песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на одного человека в сутки, или 7,2 л в год, при влажности 60 % и объемной массе 1,5 т/м³.

Осадки плавающие. Количество этих примесей в бытовых сточных водах на одного человека в год составляет 2 л при влажности 60 % и объемной массе 0,6 т/м³.

Осадки сырые представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75–80 % и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самоотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95 %, а при удалении из отстойника плунжерными насосами – 93–94 %.

Активный ил представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью – 99,2–99,7 %.

Шламы выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрации, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

Осадки сброженные в анаэробных условиях имеют мелкую и однородную структуру, цвет – почти черный или темно-серый. Отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа – метана, весьма ценного для использования.

Осадки из аэробных стабилизаторов. Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5–15 ч до влажности 96–98 %. При стабилизации бактерии группы коли (кишечная палочка

E. coli) гибнут на 95 %, но яйца гельминтов не исчезают, поэтому осадки после аэробной стабилизации нуждаются в обеззараживании.

Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых сточных вод содержат большое количество яиц гельминтов. При термофильном сбраживании яйца глистов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков.

Химический состав осадков. Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки.

Показатели осадков сточных вод:

1 *Влажность* – содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах:

$$P = \frac{m_{\text{ос}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{ос}}} \cdot 100 \% ; \quad (6.1)$$

$$P = \left(1 - \frac{m_{\text{сух}}}{W_{\text{ос}} \rho_{\text{ос}}} \right) \cdot 100 \% , \quad (6.2)$$

где $m_{\text{ос}}$ – масса осадка, кг;

$m_{\text{сух}}$ – сухой остаток осадка, кг;

$W_{\text{ос}}$ – объем осадка, м³;

$\rho_{\text{ос}}$ – плотность осадка, кг/м³.

2 *Форма связи влаги.* Величина влажности не позволяет оценить в достаточной мере возможность, условия и степень удаления влаги из осадка. Это обусловлено сложностью его структуры и особенностями распределения в ней воды.

В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи.

Свободная влага имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. Физико-механически связанная влага – это капиллярная вода, вода смачивания и структурная влага. Физико-химической связью удерживается адсорбционная и осмотическая влага, а химически связанная вода, входящая в состав веществ, не выделяется даже при термической сушке осадков.

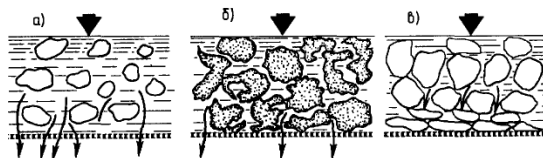
Механическими методами обезвоживания осадков, а также естественной сушкой их на иловых площадках удаляется большая часть свободной воды. Физико-механическая связь нарушается вследствие выпаривания или удаления влаги под давлением в аппаратах, которые развивают давление, больше капиллярного, и разрушают структурные связи.

3 *Удельное сопротивление фильтрации осадка* – сопротивление, оказываемое движению фильтрата через слой кека, отложившийся на 1 м^2 поверхности фильтра и содержащий 1 кг сухого вещества. Характеризует способность осадка к влагоотдаче при обезвоживании методом фильтрования под действием вакуума или давления. Уменьшение показателя соответствует улучшению влагоотдачи.

4 *Сжимаемость осадка*. С увеличением перепада давления поры в структуре осадка уменьшаются, вызывая возрастание сопротивления фильтрации.

Существует «критическое давление», выше которого поры кека сужаются настолько, что фильтрация становится невозможной. На рисунке 6.1 приведены схемы структур различных типов осадков.

Рисунок 6.1 – Схемы структур различных типов осадков:
a – легко фильтрующийся осадок;
б – осадок с высоким удельным сопротивлением;
в – сжимаемый осадок



5 *Индекс центрифугирования J_c , $\text{м}^3/\text{кг}$* , используется в качестве критерия, характеризующего водоотдачу осадка в центробежном поле. Увеличение эффективности обезвоживания осадка центрифугированием достигается при величине индекса менее 6–8.

6.1.2 Методы и схемы обработки осадков

Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

Методы обработки осадков включают обезвоживание, стабилизацию и обеззараживание (см. рисунок 1.2).

Технологические процессы обработки осадков сточных вод можно разделить на следующие основные стадии: уплотнение, стабилизация органической части, кондиционирование, обезвоживание, термическая обработка или обеззараживание, утилизация ценных продуктов (рисунок 6.2).

Для каждой из стадий существует несколько методов обработки, эффективность которых зависит от свойств осадков и местных условий. Затраты на удаление единицы объема влаги при уплотнении примерно в 10 раз ниже, чем при механическом обезвоживании (с учетом затрат на кондиционирование), и в 15–20 раз ниже, чем при термической сушке. Выбор рационального технологического процесса обработки осадков зависит от их объема и качественного состава, а также от завершающей стадии обработки.

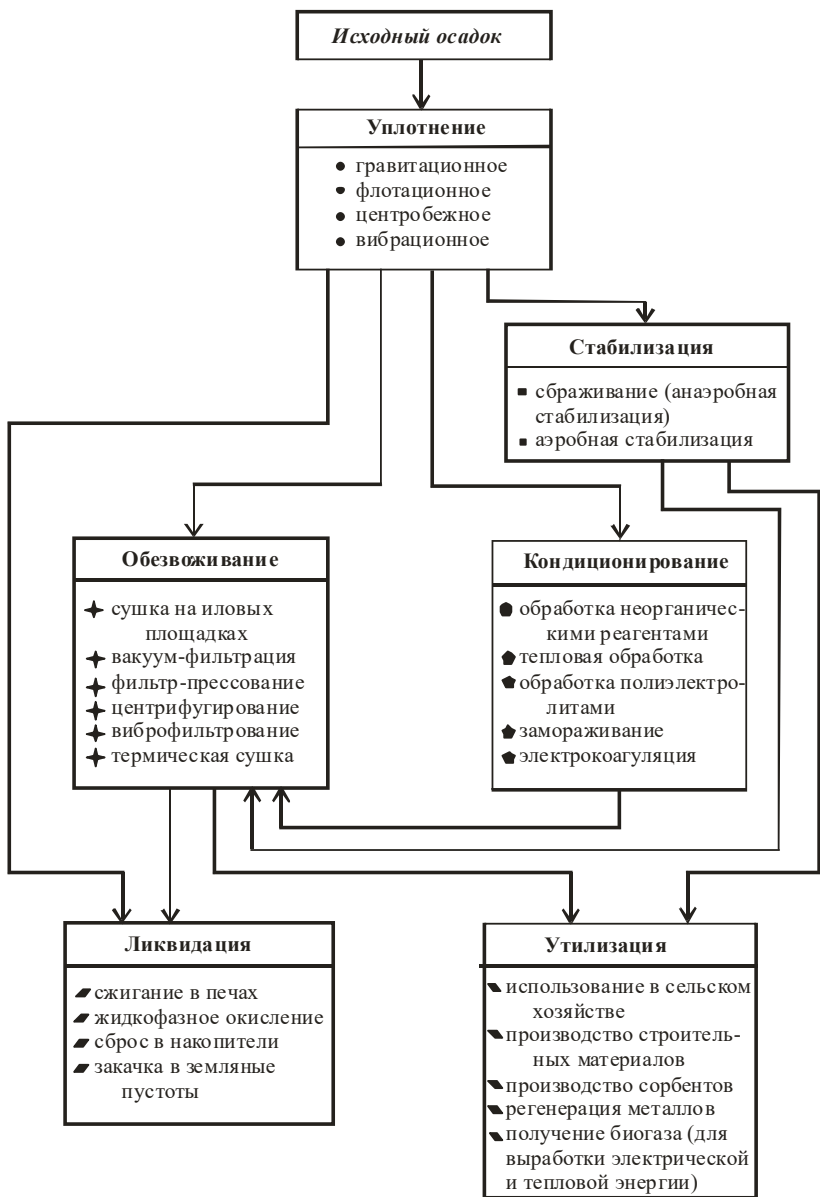


Рисунок 6.2 – Технологический цикл обработки осадков сточных вод

6.2 Уплотнение илов и осадков сточных вод

Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность. Основная часть этого ила поступает на регенерацию и снова подается в аэротенк. В результате развития микроорганизмов масса активного ила, находящегося в системе «аэротенк – вторичный отстойник», непрерывно увеличивается и образуется *избыточный активный ил*, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую обработку для стабилизации и обезвоживания.

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

Осуществлять обработку больших количеств избыточного активного ила с высокой влажностью (99,2–99,6 %) нерентабельно, поэтому его предварительно уплотняют. Применяемые для этого сооружения называются *илоуплотнителями*, устройство которых на современных очистных сооружениях обязательно.

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.

При уменьшении влажности осадка с 99 до 92 % объем осадка уменьшается в 2 раза.

В зависимости от принятой схемы очистной станции уплотнению могут подвергаться осадки из первичных отстойников, избыточный активный ил, смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, флотационный шлам, осадки и илы после стабилизации.

Варианты расположения уплотнителей в технологических схемах очистных сооружений с использованием аэротенков приведены на рисунке 6.3.

По **схеме "а"** избыточный активный ил непрерывно поступает в илоуплотнитель, где отдает основную массу свободной влаги в виде иловой воды. Осадок из илоуплотнителя подается на дальнейшую обработку. Отделенная иловая вода содержит значительное количество растворенных органических загрязнений, поэтому она возвращается в цепочку очистки воды перед аэротенками.

По **схеме "б"** осадок из первичных отстойников непрерывно поступает в отдельный уплотнитель, что позволяет увеличить производительность первичных отстойников. Отделенная иловая вода, содержащая до 150 мг/дм³ взвешенных веществ, подается перед первичными отстойниками.

По **схеме "в"** уплотнением избыточного активного ила осуществляется совместно с осадком первичных отстойников. При этом уплотнитель целесообразно использовать как резервуар-регулятор расхода осадка для последующей его обработки.

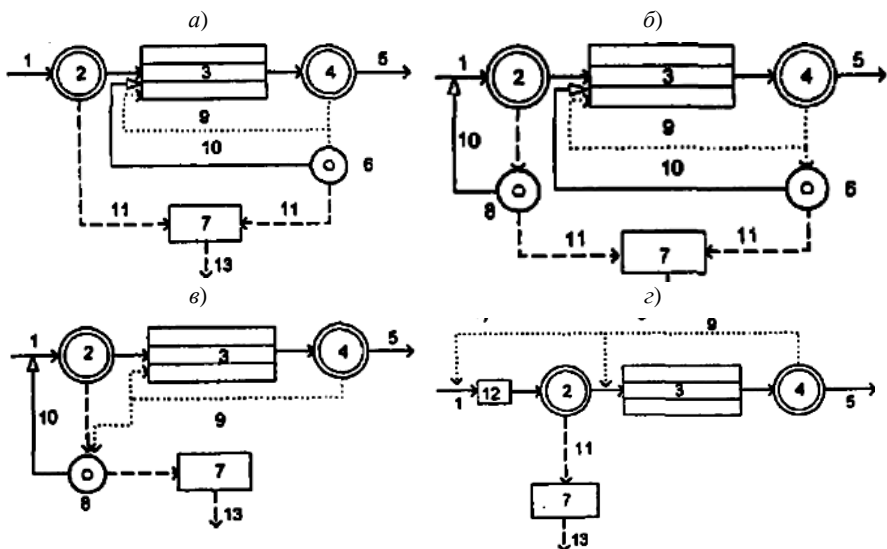


Рисунок 6.3 – Варианты расположения уплотнителей в технологических схемах очистных сооружений с аэротенками:

- 1 – подача сточных вод; 2 – первичный отстойник; 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник;
 5 – отведение очищенной воды; 6 – илоуплотнитель; 7 – блок обработки осадков;
 8 – илоуплотнитель; 9 – активны ил; 10 – иловая вода; 11 – осадок; 12 – преаэратор;
 13 – обработанный осадок

По схеме "г" уплотнение осадков осуществляется без илоуплотнителей. Активный ил подается в преаэраторы в объеме, превышающем его избыточное количество, откуда со сточной водой поступает в первичные отстойники. Выносимый из первичных отстойников активный ил компенсирует недостающую часть циркулирующего активного ила, подающегося на аэротенки. В преаэраторы подается такая часть активного ила, которая превышает его избыточное количество, но позволяет выделить в первичных отстойниках весь избыточный активный ил. Эта схема дает возможность получать один вид осадка – смесь сырого осадка и активного ила.

На выбор оптимальной схемы уплотнения влияют: состав сточных вод, степень очистки, свойства активного ила.

Смесь первичного осадка и избыточного ила уплотняется более эффективно, чем избыточный ил. Для уплотнения избыточного активного ила на очистных сооружениях используют илоуплотнители: гравитационного типа (вертикальные и радиальные), флотационные, работающие по принципу компрессионной флотации и механические.

6.2.1 Гравитационное уплотнение

Гравитационное уплотнение является наиболее распространенным и простым способом снижения влажности осадка сточных вод при минимальных затратах электроэнергии.

Конструкции гравитационных уплотнителей (вертикальных и радиальных) аналогичны конструкциям первичных отстойников. Осадок подается в круглый резервуар, оснащенный медленно вращающимся скребком, который разрушает связь между частицами осадка, увеличивая осаждаемость и уплотнение ила. Сбор и удаление осадка в радиальных илоуплотнителях осуществляется илоскребами или илососами. Наибольшую эффективность имеют радиальные илоуплотнители с илоскребами за счет медленного перемешивания активного ила в процессе уплотнения, а также за счет меньшей высоты радиальных илоуплотнителей по сравнению с вертикальными. При перемешивании снижаются вязкость активного ила и его электрокинетический потенциал, что способствует лучшему хлопьеобразованию и осадению. Поэтому в современных конструкциях илоуплотнителей предусматривается устройство низкоградиентных мешалок (рисунок 6.4).

Расстояние между стержнями принимается 0,3 м, частота вращения илоскреба – 2–4 об/ч. Показатели уплотнения в гравитационных илоуплотнителях принимаются по таблице 6.2.

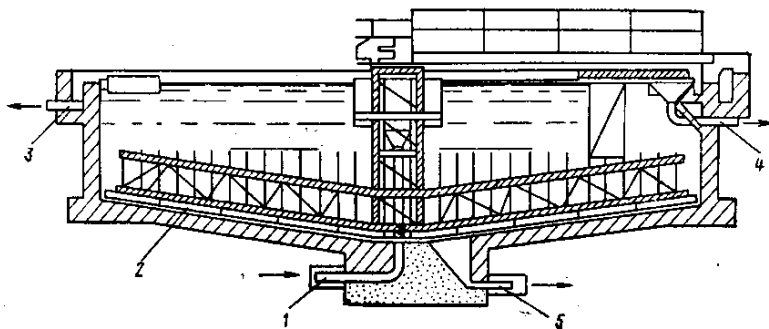


Рисунок 6.4 – Радиальный илоуплотнитель со стержневой мешалкой:

- 1 – подающий трубопровод; 2 – илоскребок со стержневой мешалкой; 3 – трубопровод отвода иловой воды; 4 – то же, для удаления плавающих веществ;
- 5 – трубопровод уплотненного ила

Выпуск уплотнённого ила осуществляется непрерывно под гидростатическим напором не менее 1 м. Отделившаяся в процессе уплотнения вода (*иловая вода*) направляется на очистку в аэротенки и характеризуется следующими показателями: концентрация БПК₅ – 200, взвешенных веществ – 100 мг/дм³.

Таблица 6.2 – Показатели уплотнения в гравитационных илоуплотнителях [5]

Характеристика избыточного активного ила	Влажность уплотненного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч	
	в уплотнителе			
	вертикальном	радиальном	вертикальном	радиальном
Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5–3 г/л	–	97,3	–	5–8
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4 г/л	98	97,3	10–12	9–11
Активный ил зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5–6,5 г/л	98	97	16	12–15
Смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	93–95	93–95	7–10	7–10

Илоуплотнители в высотном отношении располагаются таким образом, чтобы иловая вода из них могла быть подана в аэротенк самотеком.

6.2.2 Флотационное уплотнение

Флотационное уплотнение ила, по сравнению с гравитационным, требует меньшего времени и позволяет получить более глубокое и регулируемое качество уплотнения, но при этом является энергоемким. Флотация происходит в результате прилипания тонких частиц активного ила к пузырькам воздуха и подъема их на поверхность. Концентрация ила в осветленной иловой воде составляет 200–300 мг/дм³, что выше, чем получается при гравитационном уплотнении. Для флотационного уплотнения рекомендуется применять метод напорной флотации с использованием прямоугольных или круглых флотаторов (рисунок 6.5), как с непосредственным насыщением ила воздухом, так и с насыщением воздухом рециркулирующей части осветленной воды. Схемы флотационных установок аналогичны применяемым для очистки сточных вод.

Диспергирование воздуха в иловой смеси флотационных илоуплотнителей осуществляется двумя способами:

- 1) непосредственным насыщением воздухом всего объема ила;
- 2) путем насыщения воздухом циркулирующей части осветленной воды из вторичных отстойников.

Преимущества флотационных илоуплотнителей:

- позволяет применять компактные сооружения с небольшой поверхностью и малым объемом;
- эффективное уплотнение осадков с коллоидной структурой.

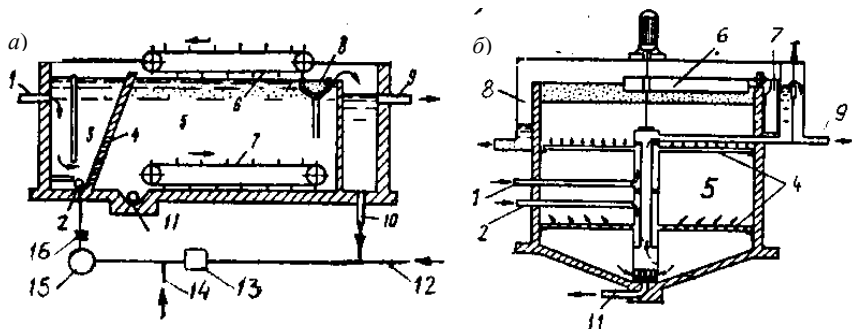


Рисунок 6.5 – Горизонтальный (а) и вертикальный (б) флотационные уплотнители:

1 – трубопровод подачи осадка; 2 – то же, рециркулирующей воды; 3 – зона смешения; 4 – впускная распределительная система; 5 – камера флотации; 6, 7 – скребки; 8 – лоток для сбора уплотненного ила; 9 – трубопровод для удаления воды; 10 – трубопровод воды на рециркуляцию; 11 – трубопровод опорожнения и удаления выпавшего осадка; 12 – трубопровод подпитки технической водой; 13 – насос; 14 – трубопровод подачи сжатого воздуха; 15 – напорный резервуар; 16 – регулятор давления

Недостатки флотационных илоуплотнителей:

- более высокие по сравнению с гравитационным уплотнением эксплуатационные расходы;
- невозможность накопления большого количества ила в уплотнителе;
- малая эффективность уплотнения сырого осадка;
- возможное замерзание концентрированной иловой пены на поверхности уплотнителя в зимнее время;
- более сложная эксплуатация по сравнению с гравитационными.

При проектировании флотационного уплотнителя необходимо принимать:

- удельную нагрузку по сухому веществу – 5–10 кг/(м²·ч);
- удельный расход воздуха – 10–20 дм³/кг сухого вещества ила.

Для интенсификации флотационного процесса илоуплотнения и повышения концентрации выгружаемого осадка в ряде случаев используется добавление полиэлектролитов.

Влажность уплотненного осадка составляет: при уплотнении без полиэлектролитов – 95–97 %, с применением полиэлектролитов – 94–96,5 %.

Продолжительность пребывания активного ила в зоне уплотнения принимается 2–3 ч, а продолжительность пребывания иловоздушной смеси в напорном баке – 2–4 мин, давление насыщения воздухом – 0,3–0,4 МПа.

Повышение степени уплотнения и сокращение продолжительности процесса достигается прогреванием, добавкой химических реагентов, разбавлением активного ила очищенной сточной водой, а также совместным уплотнением ила с осадком первичных отстойников.

6.2.3 Динамическое уплотнение

Для динамического уплотнения применяются шнековые, барабанные и ленточные илоуплотнители, а также центрифуги.

Механический илоуплотнитель может работать в непрерывном режиме (24 ч/сут/7 дней в неделю), в несколько смен (например, 8 ч/сут/5 дней в неделю или 16 ч/сут/5 дней в неделю – на очистных сооружениях небольшой производительности). В этом случае необходимо устройство промежуточного резервуара.

При динамическом уплотнении используются флокулянты и повышается расход электроэнергии. Флокулянт подается в илоуплотнитель, оснащенный мешалкой для перемешивания и устойчивого хлопьеобразования.

Динамическое уплотнение чаще применяется на крупных и средних очистных сооружениях и в качестве предварительной обработки перед обезвоживанием. Стоимость оборудования составляет от 70 000 до 150 000€, срок эксплуатации – 15–20 лет [30].

Усредненные показатели оборудования для динамического уплотнения осадков сточных вод приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Показатели уплотнения в гравитационных илоуплотнителях [77]

Показатель	Центрифуги		Барабанные, дисковые, шнековые, ленточные уплотнители
	без применения флокулянтов	с применением флокулянтов	
Влажность уплотненного избыточного активного ила, %	93–95	92–94	93–95
Удельный расход флокулянта, кг на 1 т сухого вещества осадка	0	1,0–1,5	3–7
Удельное энергопотребление, кВт на 1 т сухого вещества осадка	180–220	100–140	До 30
Удельное энергопотребление, кВт на м ³ осадка	1,0–1,4	0,6–1,0	До 0,2

Шнековый илоуплотнитель представляет собой наклонную клиновидную сетку. Шнек, медленно вращаясь с переменной скоростью, осторожно подает осадок вверх через сетку. Вода вытекает сквозь сетку. Степень уплотнения регулируется с помощью пластины на выходе и переменной скорости шнека. Очистка сетки проводится во время работы автоматической системой промывки.

Шнековый илоуплотнитель позволяет уплотнять осадок городских сточных вод с 0,5–1 до 4–7 % по сухому веществу. Общий объем осадка при низком расходе энергии и воды для промывки можно уменьшить на 90 % от первоначального объема [30].

Шнековые уплотнители, как правило, изготавливаются из нержавеющей стали. Их мощность может варьироваться от 20 до 100 м³/ч. Оборудование имеет закрытую конструкцию, что позволяет устранить неприятный запах. Необходимая площадь шнекового илоуплотнителя зависит от производительности и обычно составляет 2–4 м в ширину, 5–10 м в длину и 3–6 м в высоту (включая пространство для технического обслуживания). Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Установленная мощность шнекового илоуплотнителя составляет около 4–10 кВт. Потребляемая мощность оборудования занимает незначительную часть от общего энергопотребления очистных сооружений (около 3–7 кВт·ч/т сухого вещества). Расход электроэнергии зависит также от фактического времени работы оборудования. Расход флокулянта составляет порядка 2–6 кг на тонну сухого вещества.

Барабанный илоуплотнитель состоит из блока флокуляции с системой подачи флокулянта и вращающихся цилиндрических решеток. Флокулированный осадок подается на вращающиеся решетчатые барабаны, которые отделяют осадок от воды. Уплотненный осадок выкатывается из барабана, фильтрат вытекает через решетки.

Технические характеристики барабанных илоуплотнителей аналогичны характеристикам шнековых илоуплотнителей. Их производительность составляет от 10 до 70 м³/ч и более в зависимости от объема осадка и требуемого выхода по сухому веществу. Общий объем осадка можно уменьшить на 90 % от первоначального. При использовании барабанного илоуплотнителя осадок уплотняется до 5–7 % по сухому веществу.

Барабанный илоуплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания в конструкции барабанного илоуплотнителя предусмотрены смотровые лючки и съемные боковые панели.

Основными преимуществами барабанных илоуплотнителей являются низкая стоимость технического обслуживания, низкое энерго- и водопотребление, небольшая площадь и объем. Необходимая площадь зависит от производительности и, как правило, составляет 2–3 м в ширину, 7–15 м в длину и 3 м в высоту, включая пространство для технического обслуживания. Данное оборудование всегда устанавливается в помещении.

Потребление электроэнергии барабанного илоуплотнителя сопоставимо с потреблением электроэнергии шнекового илоуплотнителя (3–7 кВт·ч/т сухого вещества). Установленная мощность с

оставляет 4–10 кВт. Расход флокулянта не превышает 2–6 кг на тонну сухого вещества.

Ленточный уплотнитель (гравитационный ленточный сгуститель) создан на основе ленточного фильтр-пресса для обезвоживания. Он состоит из

отжимающей ленты, которая движется над роликами, приводимыми в движение мотором. После блока флокуляции осадок непрерывно и равномерно подается на установку по всей ширине ленты. Вода стекает через ленту, благодаря чему осадок достигает целевого содержания сухого вещества. Для улучшения дренажа лента оснащена равномерно распределенными лезвиями. Лента автоматически промывается фильтратом.

Производительность ленточных уплотнителей составляет 24–180 м³/ч. Общий объем осадка можно снизить до 90 % от первоначального. Среднее содержание сухого вещества составляет около 5–7 %. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, необходимой для установки шнекового уплотнителя.

Ленточный уплотнитель изготавливается из нержавеющей стали и имеет полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. Для облегчения доступа и технического обслуживания уплотнитель имеет съемную крышку.

Преимуществами ленточного уплотнителя являются низкая стоимость обслуживания, низкие затраты электроэнергии и небольшая требуемая площадь (объем).

Расход электроэнергии при эксплуатации ленточного илоуплотнителя незначителен. Установленная мощность варьируется в зависимости от производителя от 3 до 10 кВт (около 3–7 кВт·ч/т сухого вещества).

Расход реагента, как правило, составляет 2–6 кг флокулянта на тонну сухого вещества осадка.

Центрифуги используются для уплотнения и обезвоживания осадка. Обезвоживающие и уплотняющие осадок центрифуги имеют некоторые существенные различия в конструкции. Уплотняющие центрифуги предназначены для эффективного уплотнения при низком энергопотреблении и расходе флокулянта, тогда как обезвоживающие предназначены для максимально эффективного снижения влажности.

Центрифуги изготавливаются из нержавеющей стали и имеют полностью закрытую конструкцию, что позволяет минимизировать неприятный запах и воздействие на окружающую среду. При вращении на высоких оборотах жидкая фракция отделяется от твердой.

Содержание сухого вещества в осадке, уплотненном с помощью центрифуги, составляет около 5–7 %. Необходимая площадь зависит от производительности и аналогична площади, требуемой для установки барабанного уплотнителя. Расход флокулянта при обезвоживании на центрифуге незначителен (1,0–1,5 г/кг сухого вещества), однако расход энергии значительно выше по сравнению с другими методами механического уплотнения. В отличие от трех других методов, центрифуга может работать без добавления флокулянта, однако в этом случае эффект отделения жидкой фракции от твердой значительно ниже.

Осветленная вода после уплотнения направляется в аэротенки.

6.3 Сооружения анаэробной и аэробной стабилизации осадков

Стабилизация достигается путем разложения органической части до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции окружающей средой.

Стабилизация может осуществляться: биологическими, химическими, физическими и комбинированными методами.

На выбор метода влияют: вид осадков, их количество, возможность и условия дальнейшего использования, наличие территории для их размещения.

Наибольшее распространение получили методы биологической анаэробной и аэробной стабилизации:

- септики;
- двухъярусные отстойники;
- осветлители-перегниватели;

- метантенки;
- аэробные минерализаторы

биологический процесс разложения органической массы происходит экстенсивно под влиянием внешних условий

интенсивный процесс минерализации происходит в специальных условиях

6.3.1 Метантенки

Метантенки – это сооружения для анаэробной стабилизации осадков сточных вод. Чаще всего в метантенках сбраживается осадок первичных отстойников или активный ил, или их смесь.

Анаэробное сбраживание – один из старейших и до сих пор наиболее часто используемых методов стабилизации осадка. Впервые анаэробное сбраживание в метантенках стало применяться более ста лет назад в США. Содержащиеся в осадке концентрированные органические и неорганические вещества при дефиците кислорода разлагаются, превращаясь в метан и конечные неорганические продукты. Основными преимуществами сбраживания являются стабилизация осадка сточных вод, уменьшение его объема и производство биогаза.

Анаэробное метановое сбраживание включает *четыре взаимосвязанные стадии*, осуществляемые различными группами бактерий (рисунок 6.6):

I – стадия ферментативного гидролиза нерастворимых сложных органических веществ с образованием более простых растворенных веществ. К первой группе относятся ферментативные бактерии, осуществляющие стадии ферментативного гидролиза и кислотообразования, с выделением в среду биологических катализаторов. Скорость гидролиза зависит от природы органических веществ, количества ферментов, контакта с органическим субстратом.

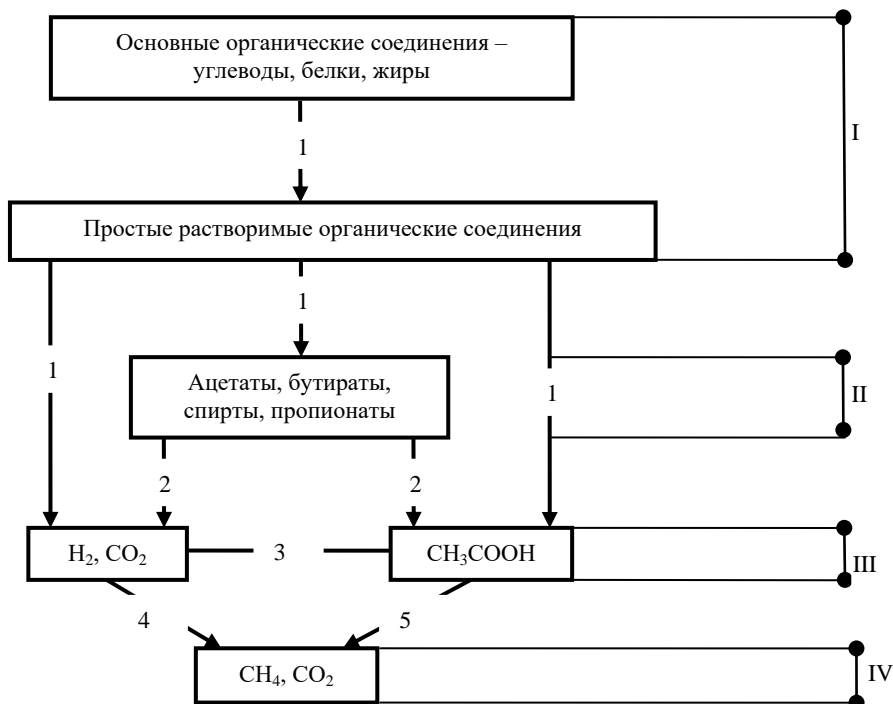


Рисунок 6.6 – Схема анаэробного метанового сбраживания:

Стадии процесса: I – гидролиз; II – кислотообразование; III – образование уксусной кислоты; IV – образование метана;

Участвующие группы бактерий: 1 – ферментативные кислотогены; 2 – ацетогены, образующие H_2 ; 3 – ацетогены, использующие H_2 ; 4 – метаногены, восстанавливающие CO_2 ; 5 – метаногены, использующие ацетат

II – стадия кислотообразования с выделением короткоцепочечных летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа (кислотогенная стадия). Осуществляется гетеротрофными микроорганизмами, для которых углерод простых органических соединений является источником питания. Бактерии этой стадии неприхотливы и растут с высокой скоростью.

III – ацетогенная стадия превращения летучих жирных кислот, аминокислот, спиртов в уксусную кислоту. Осуществляется двумя группами ацетогенных бактерий: первая образует ацетат с выделением водорода, вторая – приводит к образованию уксусной кислоты путем использования водорода для восстановления CO_2 .

IV – метаногенная стадия образования метана из уксусной кислоты, а также в результате реакции восстановления водородом углекислого газа. На метаногенной стадии бактерии групп «г» и «д» образуют метан двумя способами:

- 1) восстановление углекислоты, метанола и муравьиной кислоты водородом (группа бактерий «г») – образуется 28 % метана;
- 2) расщепление уксусной кислоты (группа бактерий «д») – образуется 72 % метана.

Метановые бактерии – строгие анаэробы, они весьма чувствительны к присутствию в среде растворенного кислорода и нитратов. Оптимальное значение реакции среды составляет 7,0–7,5, хотя эти бактерии могут работать и при pH = 9...10, если время их пребывания не менее 20 сут. Концентрация кислорода, равная 0,01 мг/л, губительно действует на метановые бактерии.

Источниками углерода для метановых бактерий являются ацетат-ион и углекислый газ, источником энергии служит водород, главным источником азота – аммиак, а источником серы – сульфиды. Метаногены также испытывают потребность в различных микроэлементах: калии, натрии, кальции, магнии, кобальте, меди, боре, цинке, молибдене.

Таким образом, анаэробное сбраживание органических веществ осуществляется сообществом микроорганизмов, составляющих трофическую цепь первичных и вторичных анаэробов, для которых характерно использование продуктов обмена одних групп бактерий другими.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания оценивается по степени распада органического вещества, количеству и составу образующегося биогаза.

При сбраживании осадков из первичных отстойников, где содержится больше жиров, образуется больше биогаза, чем при сбраживании активного ила.

Различают три основные *температурные зоны жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов*:

- психрофильную – до 20 °С (оптимум – 15–17 °С);
- мезофильную – от 20 до 40 °С (оптимум – 32–35 °С);
- термофильную – от 50 до 70 °С (оптимум 52–55 °С).

В каждой зоне биохимические процессы осуществляются своей специфической ассоциацией микроорганизмов.

Термофильное сбраживание отличается от мезофильного большей интенсивностью и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое уменьшается необходимый объем сооружений и улучшаются санитарно-гигиенические показатели осадков, но требует почти вдвое большего расхода тепла.

Поддержание мезофильных или термофильных температур требует на практике подогревания осадков, что приводит к усложнению технических решений очистных сооружений.

Температура, при которой осуществляется сбраживание осадка, также существенно влияет и на процесс газовыделения.

При термофильном сбраживании достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур гибнет лишь 50–80 % всего количества яиц гельминтов.

На большинстве станций сбраживание осуществляется в мезофильных условиях, что даёт возможность выработки биогаза в количестве, достаточном как для подогрева метантенков, так и для получения дополнительного тепла.

Режим сбраживания выбирается с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

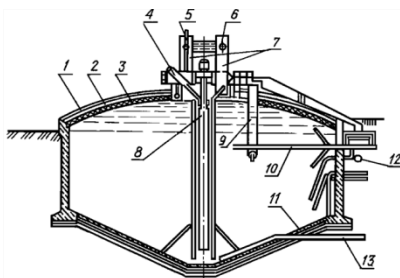
При работе метантенков контролируются показатели:

- 1) выход и состав биогаза, в котором обычно содержится 60–65 % метана, 32–35 % диоксида углерода и некоторое количество водорода, сероводорода, азота и др;
- 2) степень распада органических веществ;
- 3) содержание летучих жирных кислот, аммонийного азота и щелочности иловой воды;
- 4) влажность и зольность загружаемого и сброженного осадков;
- 5) реакция среды (рН).

Метантенки представляют собой герметичные вертикальные резервуары с коническим или плоским днищем, выполненные из железобетона или стали (рисунок 6.7) с изоляцией для поддержания постоянной температуры.

Рисунок 6.7 – Метантенк:

- 1 – мягкая кровля; 2 – кирпич; 3 – теплоизоляция; 4 – смотровой люк; 5, 9 – трубы для выпуска газа в атмосферу, переливания; 6 – газопровод для газового колпака; 7 – газовые колпаки; 8 – пропеллерная мешалка; 10, 13 – трубопроводы соответственно для загрузки сырого осадка, опорожнения метантенка; 11 – днище метантенка; 12 – паровой инжектор для подогрева метантенков



Уровень осадка поддерживается в узкой горловине метантенка, что позволяет повысить интенсивность газовыделения на единицу поверхности бродящей массы и предотвратить образование плотной корки.

Корпус метантенка всегда оснащен устройствами для перемешивания и нагрева, что обеспечивает поддержание постоянной температуры. Сброженный осадок удаляется из метантенка путем откачки либо самотеком по теле-

скопическим трубам. Пена с поверхности также отводится самотеком по телескопическим трубам.

Форма метантенка является важным критерием проектирования. Для обеспечения соответствующего перемешивания и условий эксплуатации высота метантенка часто должна быть чуть больше его диаметра.

Формы метантенков разработаны таким образом, чтобы обеспечить максимальный рабочий объем при минимальной поверхности, сократить материалоемкость и теплотепери при строительстве и эксплуатации метантенков. Достаточно распространена (особенно в Германии) яйцевидная форма (рисунок 6.8, *а*), в других странах часто используются метантенки цилиндрической формы (рисунок 6.8, *б*) [30].

а)



б)



Рисунок 6.8 – Конструкции метантенков:
а – яйцевидная форма; *б* – цилиндрическая форма

В связи с длительным временем сбраживания осадка метантенки должны иметь большой объем. Кроме самого метантенка (метантенков), для выравнивания колебаний выхода биогаза необходим газгольдер. В настоящее время разработаны типовые проекты метантенков полезным объемом 500–4000 м³ и диаметром 10–20 м. Для крупных очистных станций разработаны индивидуальные проекты метантенков с полезным объемом 6000–8000 м³.

Для организации процесса сбраживания на крупных очистных сооружениях требуется примерно 25–35×30–40 м² свободного места. Метантенки могут размещаться вне помещений, однако они должны иметь изоляцию. Насосы и другое вспомогательное оборудование устанавливаются в помещениях, расположенных, как правило, под метантенками или в небольших отдельно стоящих зданиях.

Для утепления метантенков могут применяться пенополиуретан, минеральная вата, стекловолокно.

Для сокращения затрат на теплоизоляцию стенок метантенка может применяться обваловка резервуара грунтом.

Основными конструктивными элементами метантенков, выполняющими определенные технологические функции, являются *системы*:

- подачи и выгрузки стабилизированного осадка;
- подогрева;
- перемешивания бродящей массы;
- сбора и отвода выделяющегося газа.

Система подачи и выгрузки осадков. Наиболее рациональной является *эксплуатация метантенков по прямоточной схеме*, при которой загрузка и выгрузка осадков происходит одновременно и непрерывно (или с минимальными перерывами). Такой режим создает благоприятные температурные условия в метантенке, так как исключается охлаждение бродящей массы вследствие залповых поступлений более холодных сырого осадка и избыточного ила, обеспечивает равномерность газовыделения в течение суток. Подача осадка может осуществляться либо через общую для всех метантенков загрузочную камеру, либо насосом непосредственно в каждый метантенк. В обоих случаях должна быть обеспечена равномерность распределения нагрузки между отдельными сооружениями и возможность ее регулирования. Осадок подается в верхнюю зону метантенка, а выгружается из самой нижней точки днища. Максимальное удаление друг от друга трубопроводов подачи и выгрузки предотвращает попадание несброженного осадка в выгружаемую массу. При постоянной выгрузке сброженной массы из нижней части удастся замедлить процесс накопления песка, который вместе с осадком из первичных отстойников попадает в метантенк.

Система подогрева осадков. Чтобы обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, важно поддерживать в метантенке постоянную температуру. Колебания температуры или недостаточная изоляция метантенка снижают выход биогаза.

В метантенках тепло расходуется на подогрев загружаемого осадка до необходимой расчетной температуры, возмещение потерь тепла, уходящего через стенки, днище и перекрытие метантенка и уносимого с отводимым из метантенка газом.

Биогаз, образующийся в процессе сбраживания, в основном используется для производства электроэнергии на ТЭЦ (теплоэлектроцентралях). Одновременно вырабатываемая тепловая энергия расходуется для нагрева загружаемого осадка и обогрева корпуса метантенка. Если загружаемый сырой осадок в течение длительного периода на протяжении всего года имеет относительно низкую температуру (5–10 °С), его, как правило, предварительно нагревают в резервуаре сырого осадка. Данный резервуар, в свою очередь, нагревается трубчатыми или пластинчатыми теплообменниками и устройствами для рециркуляции осадка до необходимого диапазона мезофильных температур 35–40 °С.

Подогрев метантенков осуществляют острым паром. Пар низкого давления с температурой 110–112 °С подается во всасывающую трубу насоса при подаче и перемешивании осадка или непосредственно в метантенк через паровой инжектор. Инжекторы устанавливаются в каждом метантенке. Забирая в качестве рабочей жидкости осадок из метантенка и подавая смесь его с паром снова в метантенк, шаровой инжектор обеспечивает и подогрев осадка и частичное перемешивание бродящей массы.

Система перемешивания бродящей массы. Перемешивание бродящей массы обеспечивает ее однородность во всем объеме метантенка. При загрузке холодного осадка в верхнюю зону метантенка он как более холодный устремляется вниз. Одновременно пузырьки выделяющегося газа поднимаются вверх. В результате происходит перемешивание бродящей массы в вертикальном направлении. Если метантенк оборудован инжектором, его работа приводит к перемешиванию осадка в горизонтальной плоскости.

Однако эти процессы, сопровождающие процесс сбраживания, не могут обеспечить полного перемешивания содержимого метантенка. Для перемешивания дополнительно можно использовать:

- циркуляционные насосы, они обеспечивают рециркуляцию бродящей массы со дна в верхнюю часть метантенка (обязательным условием применения является наличие в конструкции конусного днища, что предотвращает образование мертвых зон);

- пропеллерные мешалки, устанавливаемые под уровнем осадка, в трубе, расположенной в центральной части метантенка;

- перемешивание с помощью газа, предполагающее забор газа из-под купола метантенка или из газгольдера и введение его через вертикальные трубки в метантенк. Увеличение глубины подачи газа при одинаковом его расходе повышает эффективность перемешивания.

Система сбора и отвода газа. Для сбора газа на горловине метантенка устанавливают газовые колпаки. Для транспортирования газа прокладывается специальная газовая сеть из стальных труб с усиленной коррозионной изоляцией.

В процессе сбраживания осадков выделение газа происходит неравномерно. Для поддержания постоянного давления в газовой сети на тупиковых концах ее устанавливают аккумулялирующие газгольдеры.

Мокрый газгольдер состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по вертикальным направляющим. Вес колокола уравновешивается противодействием газа.

Анаэробное сбраживание применяется в основном на средних и крупных очистных сооружениях. Капитальные вложения обычно варьируются в пределах 5–15 млн евро, включая затраты на строительство ТЭЦ [30]. На очень крупных очистных сооружениях капитальные вложения могут быть значительно выше, порядка 50–80 млн евро для очистных сооружений с эквива-

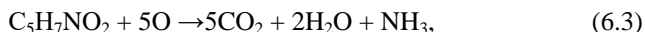
лентом численности населения более 1 000 000 жителей [30]. Срок службы механического и электрического оборудования, как правило, составляет 15–20 лет, бетонных сооружений – 30–40 лет. Установленная мощность – около 100–150 кВт, расход электроэнергии – 100–400 кВт·ч/т сухого вещества [30], что компенсируется за счет производства электроэнергии из биогаза. Часть энергии, вырабатываемой при сбраживании, расходуется на ее производство, поэтому при оценке чистой экономической выгоды необходимо учитывать энергопотребление мешалок и насосов.

Для управления процессом требуются 2–3 оператора [30].

6.3.2 Аэробные стабилизаторы

В качестве альтернативы анаэробному сбраживанию осадок может стабилизироваться путем длительной аэрации, при которой летучие вещества разрушаются биологическим способом. Долгосрочная (длительная) аэрация проходит в аэротенках и поэтому называется «одновременным аэробным сбраживанием». Разработаны также методы аэробной стабилизации при более высоких температурах в отдельных резервуарах. В результате аэробного сбраживания получается осадок, который можно утилизировать различными способами.

Аэробная стабилизация осадков сточных вод – процесс окисления эндогенных и экзогенных органических субстратов в аэробных условиях. В отличие от анаэробного сбраживания аэробная стабилизация протекает в одну стадию:



с последующим окислением NH_3 до NO_2 .

Аэробной стабилизации могут подвергаться неуплотненный и уплотненный избыточный активный ил, смесь активного ила с осадком первичных отстойников. При стабилизации только активного ила процесс можно рассматривать как завершающую ступень очистки сточных вод, когда при минимуме растворенных питательных веществ происходит самоокисление клеточного вещества микроорганизмов.

Для процесса аэробной стабилизации необходимы постоянная мезофильная или термофильная температура и подача достаточного количества кислорода.

Продолжительность стабилизации ила связана с его возрастом. Чем больше возраст ила, тем короче период стабилизации.

При стабилизации смеси ила с осадком происходит выделение ферментов, которые активизируют процесс.

Степень распада органического вещества и продолжительность процесса зависят от следующих факторов:

- соотношения количеств сырого осадка и активного ила;
- концентрации органических веществ;
- интенсивности аэрации;
- температуры и пр.

Процесс аэробной стабилизации обычно происходит при температуре от 10 до 42 °С и затухает при температуре менее 8 °С. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %, при этом жиры распадаются на 65–75 %, белки – на 20–30 %, а углеводы практически не распадаются. В процессе аэробной стабилизации при мезофильных температурах наблюдается снижение содержания кишечной палочки и других патогенных бактерий и вирусов на 70–90 %, однако при этом яйца гельминтов не погибают.

Продолжительность процесса при температуре 20 °С принимается:

- для неуплотненного активного ила – 2–5 сут;
- смеси неуплотненного ила и осадка из первичных отстойников – 6–7 сут;
- смеси уплотненного ила и осадка – 8–12 сут.

При более высокой температуре осадка продолжительность аэробной стабилизации уменьшается, а при меньшей – увеличивается. При изменении температуры на 10 °С продолжительность стабилизации соответственно изменяется в 2–2,2 раза.

Удельный расход воздуха принимается 1–2 м³/ч на 1 м³ объема стабилизатора при интенсивности аэрации не менее 6 м³/(м²·ч).

Термофильная стабилизация по сравнению с мезофильной обладает следующими *преимуществами*:

- увеличивается глубина разложения органического вещества;
- большая скорость процесса;
- снижаются объемы сооружений;
- улучшаются седиментационные и фильтрационные характеристики;
- стерильность обработанного осадка, гибнут семена сорняков.

Необходимый кислородный режим может обеспечиваться только механическими аэраторами. При этом расход электроэнергии возрастает в 2–3 раза, что является недостатком.

Аэробная стабилизация осадков проводится обычно в сооружениях типа *аэротенков глубиной 3–5 м*. Использование других емкостей, построенных на станциях аэрации, например переоборудованных отстойников, уплотнителей и неиспользуемых метантенков, может привести к ухудшению эффективности процесса и увеличению расхода электроэнергии.

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким схемам (рисунок 6.9).

Простейшей является схема, применяемая на очистных сооружениях при отсутствии первичных отстойников. При этом избыточный активный ил по-

ступает в стабилизатор непосредственно из вторичных отстойников или после илоуплотнителей (см. рисунки 6.9, а, б).

Возможна совместная стабилизация осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом (схема "в").

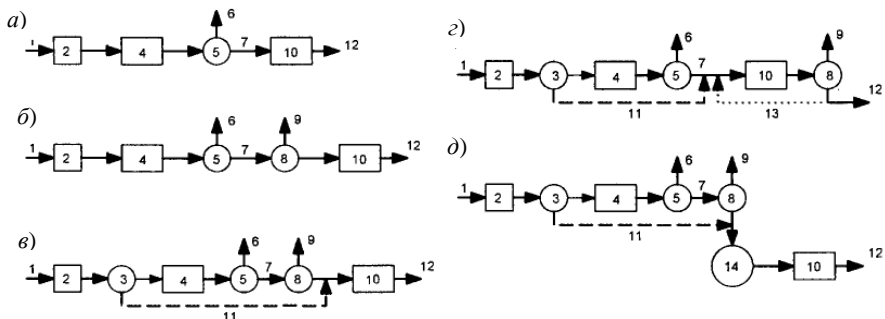


Рисунок 6.9 – Схемы аэробной стабилизации:

- 1 – подача сточных вод; 2 – решетки и песколовки; 3 – первичные отстойники; 4 – аэротенки; 5 – вторичные отстойники; 6 – очищенные сточные воды; 7 – избыточный активный ил; 8 – илоуплотнители; 9 – иловая вода; 10 – стабилизатор; 11 – осадок из первичного отстойника; 12 – стабилизированный осадок; 13 – циркуляция уплотненного осадка; 14 – метантенк

По схеме "з" в стабилизатор подают осадок из первичных отстойников и неуплотненный активный ил. Стабилизированный осадок направляется в илоуплотнитель. После уплотнения основная масса осадка возвращается в стабилизатор (рециркуляция), а меньшая часть направляется на дальнейшую обработку. По этой схеме осадок промывается большим количеством воды. Хотя время пребывания осадка в стабилизаторе сокращается, но существенно улучшается его водоотдача.

Перспективными являются схемы анаэробно-аэробной обработки смеси осадка и ила (см. рисунок 6.9, д). Анаэробный реактор работает как обычный одноступенчатый метантенк, в котором при увеличении продолжительности сбраживания достигается глубокая стабилизация органического вещества с высоким выходом газа. В этом случае аэробный реактор рассчитывают, исходя из периода и температуры, необходимых только для улучшения водоотдачи стабилизированного осадка.

При более коротком периоде анаэробной стадии происходит неполное сбраживание с потерей 15–20 % биогаза. Поэтому продолжительность аэробного процесса должна быть увеличена для повышения необходимой степени стабилизации органического вещества.

Мезофильное сбраживание в течение 6 суток с последующей аэробной стабилизацией в течение 3–4 суток позволяет значительно улучшить водоотдающие свойства осадка.

При сочетании термофильного сбраживания с аэробной минерализацией достигается обеззараживание осадка и хорошие показатели влагоотдачи.

Контроль за процессом стабилизации проводится по скорости потребления кислорода и ферментативной (дегидрогеназной) активности ила, которые снижаются до определенной величины, после чего изменяются незначительно. К моменту окончания процесса окисления экзо- и эндогенных субстратов удельное сопротивление фильтрации принимает минимальное значение, которое при продолжении аэрации начинает снова возрастать. Это обуславливает нецелесообразность проведения неконтролируемого продолжения процесса.

Аэробная стабилизация осадков обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, хорошие показатели влагоотдачи, простоту в эксплуатации и низкие строительные стоимости сооружений.

Недостатком аэробного сбраживания являются высокие затраты на интенсивную аэрацию, требующую значительного энергопотребления, и отсутствие производства биогаза, что ограничивает целесообразность использования этого процесса на очистных сооружениях производительностью более 50 тыс. м³/сут.

Уплотнение аэробно стабилизированного осадка необходимо предусматривать или в отдельно стоящих илоуплотнителях, или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора в течение не более 5 ч. Влажность уплотненного осадка составляет 96,5–98,5 %.

6.4 Обезвоживание осадков сточных вод

6.4.1 Обезвоживание осадка из песколовков

Количество песка, задерживаемого в песколовках, для бытовых сточных вод составляет 0,02–0,03 л/(сут·чел), влажность песка – 60 %, объемный вес – 1,5 т/м³.

Откачка накопленного в бункерах песколовков осадка может производиться песковыми насосами, гидроэлеваторами, шнековыми подъемниками или эрлифтами.

Откаченный садок (*пескопульпа*) имеет большую влажность – 98–99 %, что вызывает необходимость его обезвоживания.

Для обезвоживания и подсушивания осадка предусматриваются *песковые площадки* (рисунок 6.10) и *песковые бункеры* (рисунок 6.11).

Песковые площадки представляют собой карты с ограждающими валиками высотой 1–2 м, оборудованные шахтными водосбросами для отвода отстоявшейся воды. Размеры площадок принимаются из условия нагрузки на них не более 3 м³/(м²·год). Количество площадок – не менее двух.

Дренажная вода из бункеров и площадок возвращается в канал перед песколовками.

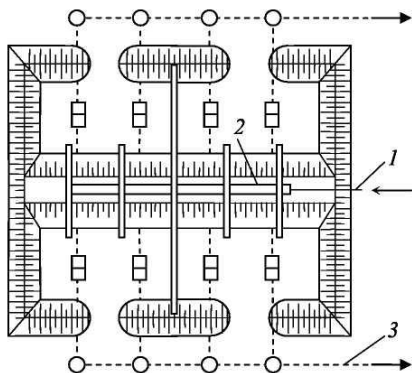


Рисунок 6.10 – Песочная площадка:
1 – пескопровод от песколовок; 2 – разводящий лоток; 3 – отвод дренажной воды

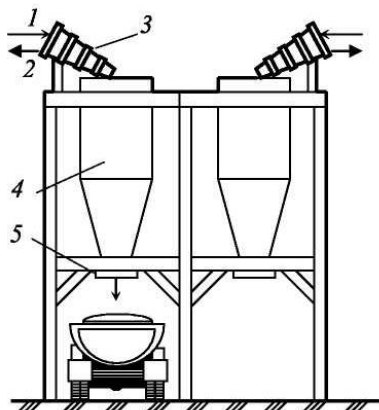


Рисунок 6.11 – Бункеры для обезвоживания и хранения песка:
1 – подача пескопульпы; 2 – отвод воды; 3 – гидроциклон; 4 – бункер; 5 – задвижка для выгрузки песка

Более рациональный метод обработки осадка из песколовок – отмывка, обезвоживание и подсушка песка с последующим использованием его в строительстве. Для этого используются *песковые бункеры*, приспособленные для последующей погрузки песка в автотранспорт. Бункеры рассчитываются на 1,5–5-суточное хранение песка.

Для повышения эффективности отмывки песка применяются напорные гидроциклоны диаметром 300 мм.

6.4.2 Иловые площадки

Иловые площадки являются одними из первых сооружений обработки осадка сточных вод. Они предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды. Являются самым распространенным методом обезвоживания осадка. В настоящее время на иловых площадках обрабатывается 90 % всего осадка.

Преимущества: простота инженерного обеспечения, легкость в эксплуатации.

Недостаток: в большей степени, чем другие сооружения, зависят от климатических и природных факторов, занимают большие площади.

В зависимости от степени использования природных процессов иловые площадки подразделяются на площадки естественного и интенсивного обезвоживания и сушки.

На *площадках естественного обезвоживания* осадок обезвоживается в процессе уплотнения и последующего отведения иловой воды, а также суш-

ки. Они состоят из карт, окруженных со всех сторон валиками (рисунок 6.12). Размеры карт и число выпусков определяется, исходя из влажности осадка, дальности его разлива и способа уборки после подсыхания.

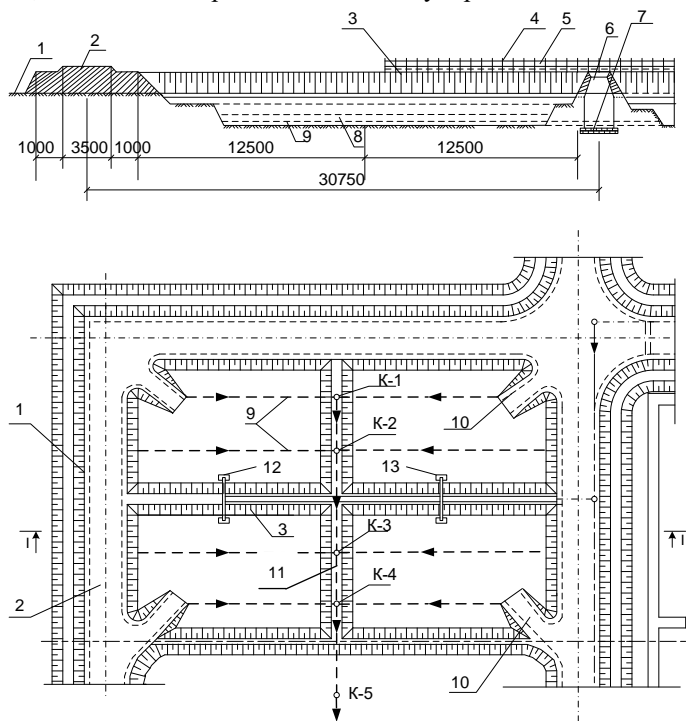


Рисунок 6.12 – Иловые площадки (план, разрез 1-1):

1 – кювет оградительной канавы; 2 – дорога; 3 – сливной лоток; 4 – бруски, поддерживающие илоразводящий лоток; 5 – илоразводящий лоток; 6 – дренажный колодец; 7 – сборная дренажная труба; 8 – дренажный слой; 9 – дренажные трубы; 10 – съезд на карту; 11 – дренажная канава; 12 – шиберы; 13 – деревянный щит под сливным лотком; К-1; К-2; К-3; К-4; К-5 – колодцы

В соответствии с рекомендациями [24] иловые площадки допускается применять для обезвоживания осадка при производительности очистных сооружений до $25000 \text{ м}^3/\text{сут}$. При большей производительности должны предусматриваться сооружения по механическому обезвоживанию осадка.

При производительности очистных сооружений $25000 \text{ м}^3/\text{сут}$ и более иловые площадки допускается предусматривать в качестве резервных сооружений для их использования в случае выхода из строя сооружений по механическому обезвоживанию осадка.

Иловые площадки необходимо проектировать на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем [24]. Допускается проектировать каскадные иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадки-уплотнители.

При соответствующем обосновании допускается проектировать иловые площадки на естественном основании с дренажем при благоприятных геологических и гидрогеологических условиях и залегании грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только в тех случаях, когда допускается фильтрация иловых вод в грунт. При меньшей глубине залегания грунтовых вод необходимо предусматривать понижение их уровня или применять иловые площадки на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем.

При проектировании иловых площадок принимается [24]:

- число карт – не менее четырех;
- рабочая глубина карт – 0,7–1,0 м;
- высота оградительных валиков – на 0,3 м выше рабочего уровня;
- ширина валиков поверху – не менее 0,7 м, при использовании механизмов для ремонта земляных валиков – 1,8–2,0 м;
- уклон дна разводящих труб или лотков – по расчету, но не менее 0,01.

При проектировании *иловых площадок с отстаиванием и поверхностным отводом иловой воды* принимается:

- число каскадов – от 4 до 7;
- число карт в каждом каскаде – от 4 до 8;
- полезная площадь одной карты – от 0,25 до 2 га;
- ширина карт – от 30 до 100 м (при уклонах местности 0,004–0,08), от 50 до 100 м (при уклонах 0,01–0,04), от 60 до 100 м (при уклонах 0,01 и менее);
- длина карт при уклонах свыше 0,04 – от 80 до 100 м, при уклонах 0,01 и менее – от 100 до 250 м, отношение ширины к длине – от 1:2 до 1:2,5;
- высота оградительных валиков и насыпей для дорог – до 2,5 м;
- рабочая глубина карт – на 0,3 м менее высоты оградительных валиков;
- напуски осадка: при 4 картах в каскаде – на 2 первые карты, при 7–8 картах в каскаде – на 3–4 первые карты;
- перепуски иловой воды между картами – в шахматном порядке;
- количество иловой воды от – 30 до 50 % от количества обезвоживаемого осадка.

При проектировании *иловых площадок с вертикальным дренажем* принимается:

- расстояние между дренажными вертикальными колодцами – 20–40 м;
- высота дренажных вертикальных колодцев – 1,5–2,0 м;
- высота оградительных валиков и насыпей для дорог – до 2,3 м;
- рабочая глубина – 1,2–1,7 м, при этом рабочая глубина должна быть на 0,3 м меньше высоты дренажных вертикальных колодцев;

- диаметр зерен фильтрующей загрузки – 10–50 мм;
- слой фильтрующей загрузки от стенки колодца – 250–300 мм.

Ограждающие стенки фильтрационного колодца выполняются из металлических сеток.

При проектировании *площадок-уплотнителей* принимается:

- ширина карт – 9–18 м;
- расстояние между выпусками иловой воды – не более 18 м;
- устройство пандусов для возможности механизированной уборки высушенного осадка.

Искусственное дренирующее основание иловых площадок должно составлять не менее 10 % площади карты. Конструкция и размещение дренажных устройств и размеры площадок принимаются с учетом механизированной уборки осадка.

Твердое покрытие иловых площадок устраивается из двух слоев асфальта толщиной по 0,015–0,025 м по щебеночно-песчаной подготовке толщиной 0,1 м, асфальтобетонное или бетонное – в зависимости от типа механизмов, применяемых для уборки осадка.

При проектировании иловых площадок предусматривается отвод иловой воды на очистные сооружения, при этом они рассчитываются с учетом дополнительных загрязняющих веществ и количества иловой воды.

При сушке сброженных осадков количество загрязняющих веществ от иловой воды принимается: БПК₅ – 700–1000 мг/дм³; взвешенные вещества – 1000–2000 мг/дм³, (большие значения принимаются для площадок-уплотнителей, меньшие – для других типов иловых площадок).

Ил подводится к площадкам и месту выгрузки по трубам или лоткам, укладываемым с уклоном 0,01–0,03. Расстояние между выпусками принимается от 10 до 40–50 м в зависимости от размеров карт. Дренаж для отвода профильтровавшейся воды устраивается обычно из керамиковых неглазурованных труб, укладываемых на расстоянии 4–10 м друг от друга, с уклоном дрен 0,0025–0,003. Глубина заложения дренажа в начальных точках принимается не менее 1,0–1,2 м.

На иловых площадках предусматриваются дороги со съездами на карты для автотранспорта и средств механизации с цепью обеспечения механизированной уборки, погрузки и транспортирования подсушенного осадка.

Полезная площадь иловых площадок, м²,

$$F_{\text{пл}} = \frac{Q_{\text{г}}}{kn}, \quad (6.4)$$

где $Q_{\text{г}}$ – количество осадка, подаваемого на иловые площадки, м³/год;

k – нагрузка осадка на иловые площадки, м³/м³·год, принимается по таблице А.4;

n – климатический коэффициент, для Республики Беларусь $n = 0,9$.

При расчете аварийных иловых площадок количество осадка, подаваемого на площадки, принимается равным 20 % годового количества осадков, подаваемых на обезвоживание.

Размеры карт на искусственном основании принимаются в зависимости от местных условий: от 20–30 м² – для мелких станций, до 0,2–0,3 га – для крупных. На малых очистных станциях в целях удобства эксплуатации ширину отдельных карт назначают не более 10 м при одностороннем напуске, для больших станций эта величина может быть увеличена до 35–40 м. Полезная площадь карт увеличивается на 20–40 % для устройства ограждающих валиков.

6.4.3 Механическое обезвоживание осадков

Для больших городов с развитой инфраструктурой использование процессов естественной сушки осадков нерационально как с экономической, так и экологической точек зрения.

Механическое обезвоживание осадков является относительно простым процессом, направленным на увеличение содержания сухого вещества в осадке с помощью различного оборудования.

Для образования хлопьев избыточного ила в блоке обезвоживания используются флокулянты. Иногда для увеличения эффективности флокулянта (полимера) и сокращения его расхода при обезвоживании к осадку также добавляются коагулянты (соли железа или алюминия). В настоящее время ведутся исследования по разработке безреагентных методов обезвоживания, однако получаемый эффект и степень надежности этих методов еще недостаточно высоки.

После достижения максимальной степени обезвоживания оставшаяся в осадке связанная на клеточном уровне вода может быть удалена только с помощью сушки [30].

Существуют различные методы и оборудование, применяемые для механического обезвоживания осадков. В зависимости от вида механического воздействия на структуру осадков обезвоживание производится:

- под разряжением (вакуум-фильтры);
- под давлением (фильтр-прессы);
- в центробежном поле (центрифуги).

Подготовка осадка для механического обезвоживания. Осадки, образующиеся на очистных сооружениях населенных мест, характеризуются весьма низкими показателями водоотдачи, что затрудняет применение интенсивных процессов для их обезвоживания.

Процессы подготовки осадков к обезвоживанию называют **кондиционированием**.

Первой стадией подготовки осадка к обезвоживанию является его промывка очищенной сточной водой (рисунок 6.13). Она применяется только для *сброженных осадков*. В результате промывки из сброженного осадка

удаляются коллоидные частицы и мелкая взвесь. Для осадков, сброженных в разных режимах, параметры промывки различаются.

Методы кондиционирования подразделяются на реагентные и безреагентные. Реагентные методы предполагают использование неорганических реагентов (хлорное и сернокислородное железо, известь) и органических высокомолекулярных соединений (полиэлектролитов). Дозы реагентов принимаются в зависимости от схемы обработки по таблице А.5. Схема подготовки осадка реагентным методом перед механическим обезвоживанием приведена на рисунке 6.14.

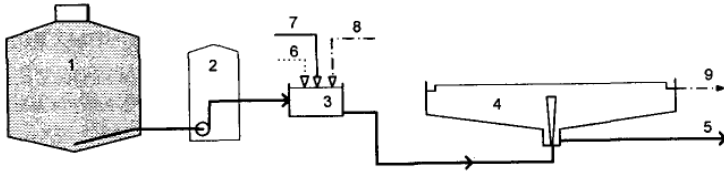


Рисунок 6.13 – Схема кондиционирования сброженного осадка с промывкой и уплотнением:

1 – метантенк; 2 – насосная станция; 3 – промывная камера; 4 – уплотнитель; 5 – уплотненный осадок на механическое обезвоживание; 6 – подача сжатого воздуха; 7 – подача промывной воды; 8 – подача фильтрата; 9 – выпуск иловой воды

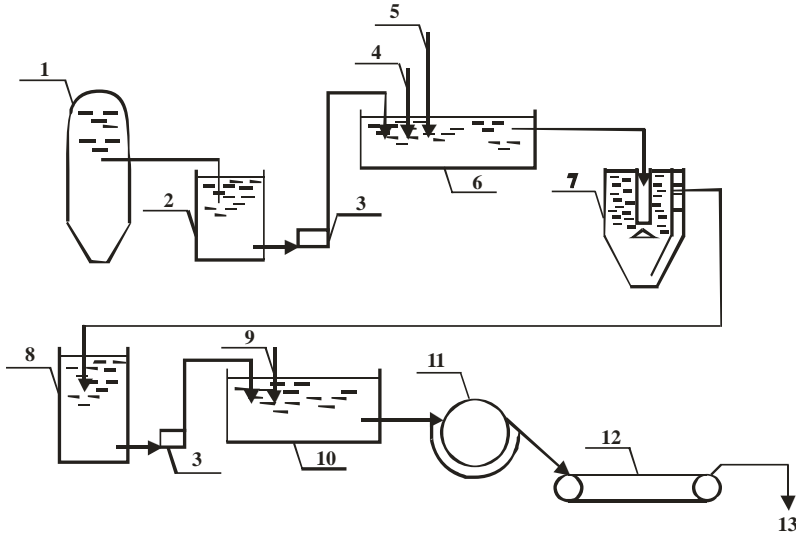


Рисунок 6.14 – Схема подготовки осадка перед механическим обезвоживанием:

1 – метантенк; 2 – сборный резервуар; 3 – плунжерный насос; 4 – подача воды; 5 – подача сжатого воздуха; 6 – промывка осадка; 7 – уплотнитель; 8 – резервуар уплотненного осадка; 9 – подача коагулянта; 10 – отделение коагулирования; 11 – вакуум-фильтр; 12 – конвейер; 13 – подача осадка в отделение термической сушки

Для приготовления известковой суспензии используется известегасилка (рисунок 6.15). В барабан через загрузочный бункер подается известь, а по вентилю 1 – вода. При вращении приводных валов за счет сил трения, возникающих между катками и бандажми, приводится во вращение барабан. Гашение извести происходит при механическом перемешивании ее с водой. Более интенсивному перемешиванию способствуют гребенки с зубьями, которые при вращении барабана дробят куски извести.

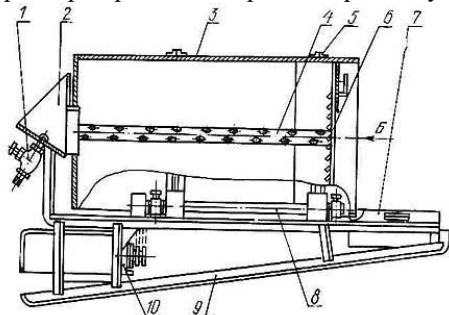


Рисунок 6.15 – Известегасилка:
 1 – вентиль; 2 – загрузочный бункер;
 3 – барабан; 4 – продольные гребенки;
 5 – бандажми; 6 – решетка; 7 – лоток;
 8 – приводные валы; 9 – рама;
 10 – привод

Недостатками реагентных методов являются:

- большой массовый расход;
- высокая коррозионная активность;
- трудности с транспортировкой и хранением;
- внесение большого количества (до 40 %) балластных веществ.

К безреагентным методам относятся замораживание-оттаивание и тепловая обработка.

Замораживание и последующее оттаивание осадков сопровождается изменением их структуры, при этом связанная влага частично переходит в свободную, и это приводит к улучшению водоотводящих свойств осадков. Такие осадки можно подвергать механическому обезвоживанию без коагулирования химическими реагентами.

Искусственное замораживание осуществляется в барабанных или панельных льдогенераторах, естественное намораживание – на иловых площадках каскадного типа на естественном основании с дренажом и поверхностным удалением талой воды. При этом объем осадка уменьшается в 5–7 раз.

Тепловая обработка (рисунок 6.16) заключается в прогревании осадка в реакторе в течение определенного времени при температуре 140–200 °С.

Преимуществом является полная стерильность обработанного осадка (при обезвоживании такого осадка на вакуум-фильтре образуется кек влажностью 55–70 %.)

Недостатки:

- сложность конструкции реактора;

- большие энергетические затраты;
- затраты и высокая концентрация органических веществ в фильтрате, которые необходимо направлять на биологическую очистку.

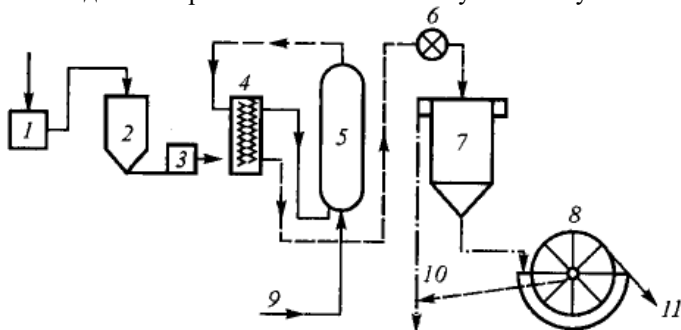


Рисунок 6.16 – Схема тепловой обработки и механического обезвоживания осадков городских сточных вод:

- 1 – дробилка; 2 – резервуар дробленого осадка; 3 – насос; 4 – теплообменник; 5 – реактор; 6 – дросселирующее устройство; 7 – уплотнитель; 8 – вакуум-фильтр; 9 – подача пара; 10 – отвод иловой воды и фильтрата; 11 – отвод кека

Обезвоживание осадка на вакуум-фильтрах заключается в удалении воды из сплошного слоя осадка, размещенного на ткани под действием вакуума, который создается со стороны ткани. На вакуум-фильтрах можно обрабатывать практически все виды осадков. Различают обычные барабанные, барабанные со сходящим полотном, ленточные и дисковые вакуум-фильтры.

Для обезвоживания осадков городских сточных вод в основном используются непрерывно действующие барабанные вакуум-фильтры, остальные применяются для обезвоживания осадков производственных сточных вод.

Рабочий цикл вакуум-фильтра включает три последовательные операции: фильтрование; обезвоживание (просушивание); удаление кека.

Барабанный вакуум-фильтр (рисунок 6.17) представляет собой горизонтально расположенный вращающийся барабан 1, покрытый металлической волнистой сеткой 2, на которой располагается фильтровальная ткань из синтетических волокон (капрона, хлорина, нитрона, лавсана). Барабан частично (на 35–40 %) погружён в емкость с осадком и разделен радиальными перегородками на секции (камеры) 9. Каждая секция соединяется трубкой 10 с различными полостями неподвижной части 12 распределительной головки. Трубки объединяются во вращающуюся часть 11 распределительной головки. Благодаря этому при вращении барабана 1 секции 9 в определенной последовательности присоединяются к источникам вакуума и сжатого воздуха. При полном обороте барабана каждая секция проходит несколько зон.

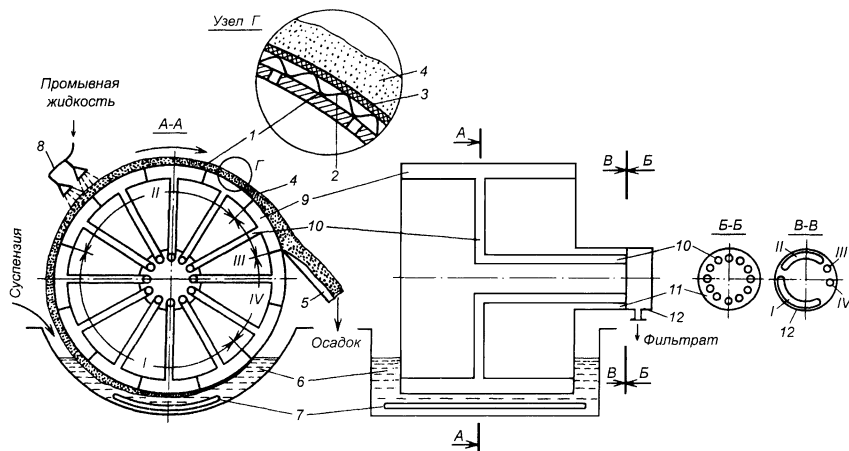


Рисунок 6.17 – Барабанный вакуум-фильтр:

1 – перфорированный барабан; 2 – волнистая сетка; 3 – фильтрованная перегородка; 4 – осадок; 5 – нож для съема осадка; 6 – корыто для суспензии; 7 – качающаяся мешалка; 8 – устройство для подвода промывной жидкости; 9 – камеры (секции) барабана; 10 – соединительные трубки; 11 – вращающаяся часть распределительной головки; 12 – неподвижная часть распределительной головки; I – зона фильтрования и отсоса фильтрата; II – зона промывки осадка и отсоса промывных вод; III – зона съема осадка; IV – зона очистки фильтровальной ткани

Осадок фильтруется под действием вакуума (40–65 кПа) через ткань, а фильтрат отводится по коллектору. После выхода барабана из осадка начинается подсушивание налипшего на ткань кека атмосферным воздухом. Воздух, который проходит через слой кека, вместе с водой отводится по вакуумной линии. Срезанный ножом кек поступает на конвейер, далее – в бункер или на автомобиль и вывозится за пределы цеха. Для улучшения фильтрационной способности ткань через 8–24 ч работы фильтра регенерируется – промывается 8–10%-ным раствором ингибированной соляной кислоты или раствором ПАВ.

Барабанный вакуум-фильтр, регенерация фильтровальной ткани которого производится непрерывно, называется **барабанным вакуум-фильтром со сходящим полотном**. Преимуществами данных фильтров в сравнении с обычными фильтрами является возможность:

- поддерживать постоянной проницаемость фильтровальной ткани;
- осуществлять более полную разгрузку осадка;
- работать с более тонкими слоями осадка, что ведет к сокращению расхода химических реагентов для коагуляции труднофильтрующихся суспензий и увеличению частоты вращения барабана;

– предотвращать разжижение осадка выдуваемым из коллектора фильтратом;

– сокращать простой фильтров при замене фильтровальной ткани.

Их применение особенно эффективно, когда осадки сточных вод по своей структуре способны быстро заливать фильтровальную ткань (сырые осадки из первичных отстойников).

Влажность осадка (кека) после барабанного вакуум-фильтра составляет 72–87 % в зависимости от характеристики обрабатываемого осадка, а производительность – 8–40 кг сухого вещества осадка на 1 м² поверхности фильтра в час.

Принципиальная схема работы барабанных вакуум-фильтров приведена на рисунке 6.18.

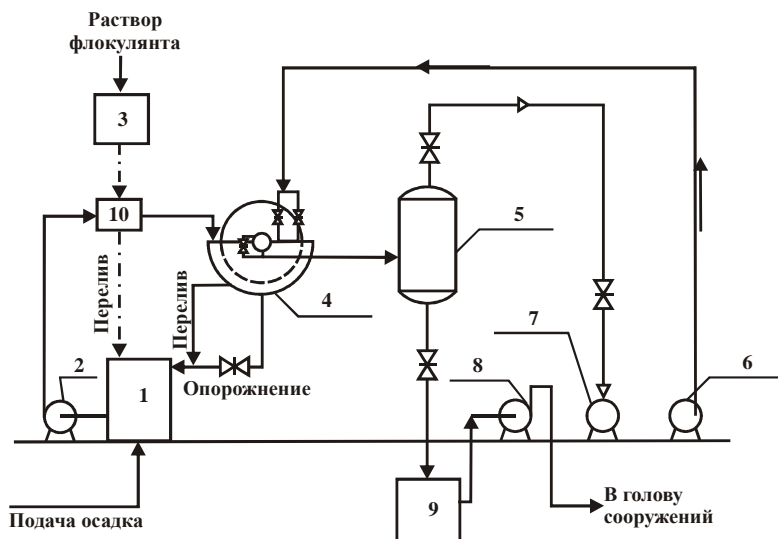


Рисунок 6.18 – Схема установки барабанного вакуум-фильтра:
1 – резервуар для осадка; 2 – насос для подачи осадка; 3 – дозатор; 4 – вакуум-фильтр; 5 – ресивер; 6 – воздуходувка; 7 – вакуум-насос; 8 – насос для откачки фильтрата; 9 – резервуар фильтрата.

Ленточный вакуум-фильтр представляет собой работающий под вакуумом аппарат непрерывного действия (рисунок 6.19). Перфорированная резиновая лента 2 перемещается по замкнутому пути с помощью барабанов 3 и 8. Фильтровальная ткань 5 прижимается к ленте при натяжении роликами 6. Осадок поступает на фильтровальную ткань из лотка 4. Фильтрат под вакуумом отсасывается в камеры 1, находящиеся под лентой, и отводится из аппарата. Промывная жидкость из форсунок 9 подается на слой осадка, отсасыва-

ется в другие вакуум-камеры и выводится из аппарата. Осадок отделяется от ткани за счет резкого перегиба на валике 7 и сбрасывается в бункер. На обратном пути между роликами 6 фильтровальная ткань регенерируется: очищается с помощью механических щеток, пропаривается или промывается жидкостью. Ширина ленты в промышленных фильтрах достигает 3 м, длина – 9 м. Скорость перемещения ленты зависит от свойств осадка.

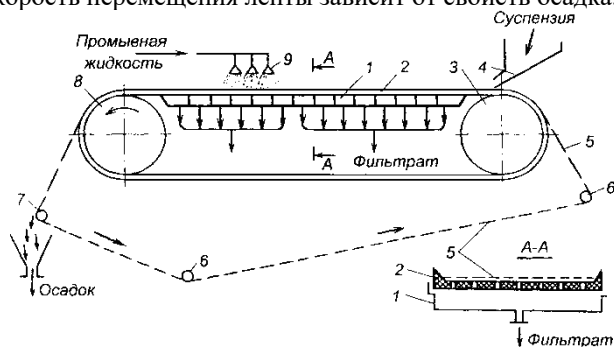


Рисунок 6.19 – Схема ленточного вакуум-фильтра непрерывного действия:

- 1 – вакуум-камеры; 2 – перфорированная лента; 3 – натяжной барабан; 4 – лоток для подачи осадка; 5 – фильтровальная ткань; 6 – натяжные ролики; 7 – валик для перегиба ленты; 8 – приводной барабан; 9 – форсунки для подачи промывной жидкости

Дисковый фильтр непрерывного действия состоит из 1–10 вертикальных дисков, укрепленных на горизонтальном полом валу (рисунок 6.20).



Рисунок 6.20 – Схема дискового вакуум-фильтра

Принцип работы **дисковых вакуум-фильтров** аналогичен барабанным. Вал с дисками вращается в емкости, имеющей форму полуцилиндра с выступающими спереди узкими камерами или карманами, число которых рав-

но числу дисков. Диски при вращении по часовой стрелке входят в карманы и почти наполовину погружаются в осадок. Каждый диск состоит из плотно прижатых друг к другу секторов с рифлеными (иногда дырчатыми) боковыми поверхностями. У основания сектора имеется полая обойма с дренажной трубкой, которая вставляется в соответствующее отверстие вала и соединяет сектор с одним из продольных каналов, на которые разделен полый вал. Снаружи каждый сектор обтянут мешком из фильтровальной ткани, обвязанным вокруг трубки. Секторы скрепляются друг с другом попарно длинными радиальными шпильками, ввинчиваемыми в тело вала и имеющими на концах дугообразные накладки. Таким образом, все секторы дисков, расположенные на одной и той же образующей вала, соединяются общим продольным каналом в нем. К одной из торцовых сторон вала плотно прижата распределительная головка, соединяющая диски с линиями вакуума и сжатого воздуха. Принцип действия распределительной головки тот же, что и в барабанном фильтре.

Осадок поступает в камеры емкости снизу в таком количестве, чтобы его избыток сливался через переливной патрубков. При движении осадок перемешивается. Фильтрация происходит при вращении дисков, делающих 0,1–3 об/мин (иногда до 20 об/мин). Фильтрат отсасывается через ткань, радиальные желобки секторов, обойму, дренажные трубки, соответствующие каналы вала и камеры головки. В большинстве случаев за зоной фильтрация на диске следует зона просушки и отдувки осадка воздухом, промывка осадка в дисковых фильтрах производится крайне редко. С обеих сторон каждого диска на краях камер корыта установлены скребки или конические горизонтальные валики. При продувке изнутри сжатым воздухом ткань на секторе выпучивается, осадок разрыхляется и сбрасывается, когда ткань проходит между скребками. Осадок падает в пространство между камерами и поступает в желоб или на транспортер, при помощи которого производится выгрузка. При снятии толстого слоя осадка пользуются скребками вместо валиков, причем скребки служат главным образом направляющей плоскостью.

Если нужна промывка осадка, то к поверхности дисков подводятся радиальные трубки, через которые разбрызгивается вода. Промывные воды отводятся через отдельную камеру распределительной головки. Диски обычно изготавливаются из древесины твердых пород или же отливаются из чугуна или цветных металлов.

Преимущества дисковых фильтров:

- наибольшая фильтрующая поверхность на единицу производственной площади по сравнению с фильтрами других типов;
- возможность удобной замены отдельных дисков и ткани на них и соответственно меньший расход ткани;
- сравнительно небольшой расход энергии.

Недостатки:

- плохая промывка осадков;
- возможность смешения промывной воды с суспензией в корыте фильтра (в связи с этим дисковые фильтры работают, как правило, без промывки осадка).

Фильтрат после вакуум-фильров подается в камеру промывки, так как содержащиеся в нем непрореагированные коагулянты способствуют снижению концентрации взвеси в сливной воде уплотнителей промытого осадка.

При вакуум-фильтрации принимается:

- вакуум – 40–65 кПа (300–500 мм рт. ст.);
- давление сжатого воздуха для отдува осадка – 20–30 кПа (0,2–0,3 кгс/см²);
- пропускная способность вакуум-насосов – из условия расхода воздуха 0,5 м³/мин на 1 м² площади фильтра;
- расход сжатого воздуха – 0,1 м³/мин на 1 м² площади фильтра.

Обезвоживание осадка на фильтр-прессах заключается в удалении воды под действием избыточного давления, которое создается со стороны осадка. Фильтр-прессы применяются в тех случаях, когда осадок направляется после обезвоживания на сушку или сжигание или когда необходимо получить осадки для дальнейшей утилизации с минимальной влажностью. По сравнению с вакуум-фильтрами, при прочих равных условиях после обработки на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью.

Для обезвоживания осадков сточных вод применяются рамные, ленточные, камерные, мембранно-камерные, барабанные и винтовые (шнековые) фильтр-прессы.

Рамный фильтр-пресс имеет набор вертикально расположенных чередующихся плит и рам, между поверхностями которых проложена фильтровальная ткань. Сначала собирается комплект рам и плит, камеры загружаются осадком и он отжимается. Затем рамы и плиты поочередно отодвигаются и обезвоженный осадок сбрасывается в бункер.

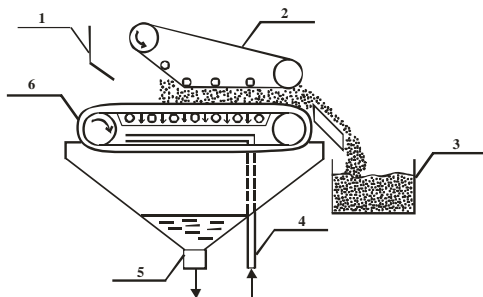
Рамные фильтр-прессы имеют низкую пропускную способность. Кроме того, выгрузка осадка из фильтра обычно производится вручную. В настоящее время эти фильтры практически не применяются.

Основными элементами **ленточного фильтр-пресса** (рисунок 6.21) являются рама для интегрированной загрузки осадка, верхняя и нижняя фильтровальные ленты для гравитационного дренажа и отжима, системы направляющих, промывки и выгрузки осадка. В современных моделях часто имеется встроенный кожух для защиты от разбрызгивания осадка и фильтрата и от выхода пара, тумана и газов с неприятным запахом. Конструкция может также включать в себя отдельную систему местной вытяжной вентиляции, расположенную над блоком ленточного фильтр-пресса. Загружаемый в устройство осадок равномерно распределяется с помощью желоба по всей

ширине фильтровальной ленты на участке гравитационного дренажа. Иногда в желобе имеются приваренные направляющие для более равномерного распределения осадка. После предварительного обезвоживания на горизонтальном участке осадок поступает в зону отжима.

Рисунок 6.21 – Горизонтальный ленточный фильтр-пресс:

- 1 – трубопровод для подачи осадка;
- 2 – прижимная лента;
- 3 – емкость для обезвоженного осадка;
- 4 – трубопровод для подачи промывной воды;
- 5 – труба для отвода фильтрата и промывной воды;
- 6 – фильтрующая лента



Ленточные фильтр-прессы часто используются для обезвоживания сброженного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания уплотненного осадка, не прошедшего промежуточный этап сбраживания. Не рекомендуется использовать для неуплотненного осадка.

Эффект обезвоживания на ленточном фильтр-прессе несколько ниже, чем при использовании центрифуг. Первичный осадок можно обезвоживать до 30–35 % по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила – до 24–30 %, аэробно стабилизированный осадок – до 15–22 %, сброженный осадок – до 20–28 % [30].

Ленточные фильтр-прессы применяются на очистных сооружениях средней производительности, однако благодаря компактной закрытой конструкции их все чаще заменяют центрифугами. Тем не менее, на некоторых очистных сооружениях, обслуживающих эквивалент численности населения до 100 000 жителей, например в Тарту (Эстония), ленточные фильтр-прессы продолжают использоваться [30].

Ленточный фильтр-пресс предназначен для непрерывной работы (24 часа в сутки 7 дней в неделю). На практике на многих очистных сооружениях обезвоживание проводится в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). В этом случае необходимо использовать промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой, что позволяет обеспечить стабильные условия эксплуатации.

При загрузке осадка в метантенк в непрерывном режиме возможна подача сброженного осадка из метантенка непосредственно на фильтр-пресс. При отсутствии сбраживания для поддержания оптимальных условий соотношение первичный осадок/избыточный ил должно оставаться постоянным.

Как и ленточный илоуплотнитель, ленточный фильтр-пресс нуждается в постоянной промывке. Промывка фильтратом производится автоматически.

Очистка и техническое обслуживание проводятся, как правило, через каждые 1–2 недели.

Ленточный фильтр-пресс достаточно надежен в эксплуатации при условии его регулярного профилактического осмотра и ремонта. Капитальные затраты обычно варьируются в пределах 80–250 тыс. евро в зависимости от производительности оборудования [30]. Срок службы составляет 15–20 лет, замену лент и других быстроизнашивающихся деталей необходимо проводить один раз в 1–2 года.

Установленная мощность составляет 20–50 кВт, потребление электроэнергии – около 20–30 кВт·ч/т сухого вещества. Расход флокулянта составляет 4–12 кг на тонну сухого вещества – в среднем несколько ниже по сравнению с центрифугой – и варьируется в зависимости от свойств осадка.

Камерные фильтр-прессы ФПАКМ (фильтр-пресс автоматизированный камерный модернизированный) находят довольно широкое распространение. Они выпускаются промышленностью серийно и имеют площадь поверхности фильтрации 2,5–50 м.

Фильтр состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Поддерживающие плиты связаны между собой вертикальными опорами, воспринимающими нагрузку от давления внутри фильтровальных плит. В натянутом состоянии ткань поддерживается с помощью гидравлических устройств.

Загрузка осадка осуществляется циклами. Фильтровальные камеры с загруженным в них осадком сжимаются с помощью гидроцилиндров в течение нескольких секунд под давлением до 60 бар.

Результат обезвоживания в камерном фильтр-прессе, в основном, зависит от свойств осадка и условий его кондиционирования. При использовании органических флокулянтов результаты обезвоживания близки к результатам обезвоживания на центрифугах.

В камерных фильтр-прессах для кондиционирования можно использовать известковое молоко (15–25 кг/м³) и хлорид железа (5–12 кг/м³). В этом случае необходима проницаемая фильтрующая ткань. Очистка воздуха производится с помощью кислого раствора, очистка фильтровальной ткани – с помощью соляной кислоты через определенные промежутки времени (например, один раз в две недели). При обезвоживании с добавлением известия содержание сухого вещества может превышать 40 %, однако в этом случае в осадке будет содержаться до 30–50 % известия.

Результат обезвоживания зависит также от типа и свойств осадка: при обработке известью/железом содержание сухого вещества может увеличиться до 45 % для первичного осадка и смеси первичного осадка и избыточного ила, 35% – для аэробно стабилизированного осадка и 40 % – для сброженно-го осадка.

Камерный фильтр-пресс можно применять для обезвоживания первичного осадка и избыточного ила, возможно, после уплотнения и сбраживания, в различных процессах очистки сточных вод. Такой фильтр-пресс особенно подходит для очистки от неорганических взвешенных веществ и химических веществ.

Для обезвоживания осадка на городских очистных сооружениях данный метод широко используется в Германии [30]. Камерные фильтр-прессы чаще используются в горнодобывающей промышленности и других отраслях, где высока доля неорганического материала в осадке. Данный метод обезвоживания подходит также для осадков, образующихся после химического осаждения фосфора.

Эксплуатация камерных фильтр-прессов обычно осуществляется в одну или две смены (8 или 16 часов в сутки 5 дней в неделю). Эта технология требует частой очистки в соответствии с инструкциями поставщика и несколько более частого технического обслуживания, чем центрифуги и ленточные фильтр-прессы.

При добавлении извести образуется аммиак, поэтому рекомендуется очистка воздуха.

Расход полимеров при работе камерных фильтр-прессов аналогичен расходу при использовании центрифуги или ленточного фильтр-пресса, потребление энергии – среднее между потреблением при использовании центрифуги и ленточного фильтр-пресса. Капитальные и эксплуатационные затраты на камерный фильтр-пресс относительно высоки по сравнению с центрифугой или ленточным фильтр-прессом в связи с более высокой стоимостью оборудования и расходами на персонал и достигают 150–350 тыс. евро в зависимости от производительности и материала оборудования. Срок службы установки составляет 15–20 лет, замена фильтровальной ткани и других изнашиваемых деталей проводится несколько раз в течение срока службы.

Установленная мощность – примерно 20–50 кВт, расход электроэнергии данного устройства зависит от фактического времени работы оборудования (около 20–30 кВт·ч/т сухого вещества). Расход флокулянта составляет 4–12 кг на тонну сухого вещества. Для эксплуатации, ремонта, контроля и очистки требуется присутствие оператора, необходима также специальная подготовка персонала у поставщика оборудования.

В настоящее время все большее распространение получают **мембранно-камерные фильтр-прессы**, которые являются усовершенствованным вариантом камерного фильтр-пресса. Представляют собой серию вертикальных плит, имеющих каналы и покрытых тканью для поддержания кека. Плиты смонтированы в корпусе, верхние опоры которого соединены двумя тяжелыми горизонтальными и параллельными брусками или рельсами. При их использовании содержание сухого вещества можно повысить на 2–3 % за

счет дополнительной мембраны, расположенной между фильтровальной тканью и пластиной фильтра. Мембрана позволяет уменьшить время обезвоживания и увеличить концентрацию сухих веществ в осадке. Инвестиционные расходы на приобретение мембранного фильтр-пресса являются весьма высокими.

Барабанные фильтр-прессы конструктивно представляют собой сочетание ленточного фильтра и барабанного пресса.

Показатели работы фильт-прессов значительно улучшаются при реагентной обработке осадков.

Центрифугирование осадков заключается в разделении фаз в поле центробежных сил. Оно находит все большее распространение.

Преимуществом использования центрифуг в сравнении с другими методами обезвоживания является простота, экономичность и управляемость процессом.

Центрифугирование осадков производится с применением минеральных коагулянтов и флокулянтов или без них. При использовании флокулянтов осадок после обезвоживания имеет меньшую влажность, а центрифуга – большую пропускную способность; фугат, образующийся при центрифугировании, имеет меньшую загрязненность.

При работе с флокулянтами производительность центрифуг принимается в 2 раза меньше, а эффективность задержания сухого вещества при этом увеличивается до 90–95 %.

Поскольку промышленностью выпускается ограниченное число флокулянтов, для обработки осадков сточных вод они применяются редко. Расход флокулянта колеблется от 4 до 14 кг на тонну сухого вещества и зависит от нескольких факторов, например, консистенции осадка, степени сбраживания, соотношения между первичным осадком и избыточным илом и содержания органических веществ в осадке. Правильный выбор катионного полимера в качестве флокулянта уменьшает его расход.

При центрифугировании осадков без применения флокулянтов образующийся фугат имеет высокие значения БПК, ХПК и содержание взвешенных веществ. Для дальнейшей обработки фугат обычно направляется на сооружения биологической очистки, увеличивая тем самым нагрузку на них, что необходимо учитывать при расчете очистных сооружений.

Перед подачей осадка на центрифуги предусматривается удаление из него песка, а перед центрифугами с диаметром ротора менее 0,5 м – установка решеток-дробилок.

Центрифуги по методу центрифугирования подразделяются на фильтрующие и осадительные.

К осадительным центрифугам относятся *декантер* (центрифуга типа ОГШ), основными элементами которого являются барабан с цилиндрической и конической секциями, конвейерный шнек внутри барабана и привод для создания вращательного движения (рисунки 6.22).

Корпус вокруг центрифуги служит для защиты и шумоподавления, а также для отвода кека и отделившейся жидкости (фугата) из устройства. Выгрузка кека из барабана производится через отверстие, расположенное в суженной части конуса. Благодаря небольшой разнице в скорости вращения барабана и конвейера кек скатывается, уплотняется и поступает из цилиндрической части в конус для выгрузки.

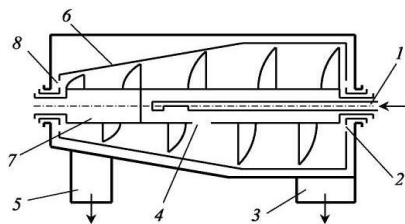


Рисунок 6.22 – Схема центрифуги ОГШ:

- 1 – труба подачи; 2 – сливные отверстия;
- 3 – сливная труба; 4 – отверстие для осадка;
- 5 – труба осадка; 6 – ротор; 7 – полый шнек;
- 8 – окна

Отверстия для слива фугата имеют переделы, позволяющие регулировать уровень жидкости в чаше.

Центрифуги используются для обезвоживания сброженного или аэробно стабилизированного осадка, однако их также можно применять для обезвоживания других видов осадков. Раньше центрифуги использовались, в основном, на крупных очистных сооружениях, в настоящее время они все чаще применяются и на очистных сооружениях средней и малой производительности. В настоящее время на рынке представлены модели небольших типоразмеров. Существуют также передвижные установки, размещаемые в грузовых автомобилях. Их можно использовать для обезвоживания осадка на нескольких небольших очистных сооружениях, что дает возможность распределения расходов между эксплуатирующими организациями.

Результат обезвоживания зависит, в основном, от типа осадка. Первичный осадок обезвоживается гораздо проще, чем смесь первичного осадка и избыточного ила, аэробно стабилизированный или сброженный осадок. С помощью центрифуги первичный осадок можно обезвоживать до 32–40 % по сухому веществу, смесь первичного осадка и избыточного ила – до 26–32 %, аэробно стабилизированный осадок – до 18–24 %, сброженный осадок – до 22–30 %.

Центрифуга может использоваться непрерывно (24 часа 7 дней в неделю). На очистных сооружениях средней и малой производительности обезвоживание проводится в одну или две смены в сутки (8 или 16 ч в сутки 5 дней в неделю). Для достижения стабильных условий необходимо использовать небольшой промежуточный резервуар, оснащенный мешалкой. Это особенно выгодно для крупных очистных сооружений.

Капитальные затраты обычно варьируются в пределах 100–250 тыс. евро в зависимости от производительности оборудования. Срок службы оборудования составляет 15–20 лет, однако при отсутствии профилактического технического обслуживания подшипников и других быстроизнашивающихся деталей может сократиться до 10–15 лет. Установленная мощность состав-

ляет 20–90 кВт (в зависимости от производительности), потребление электроэнергии – около 30–35 кВт·ч/т сухого вещества, т.е. несколько выше, чем для других альтернативных методов обезвоживания осадка. Оно также зависит от фактического времени работы оборудования.

Сопоставление методов и оборудования механического обезвоживания приведено в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Сопоставление методов механического обезвоживания осадков сточных вод

Оборудование	Основные преимущества	Основные недостатки
Вакуум-фильтры	Возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха. Сокращение топливноэнергетических расходов на термосушку. Отсутствие быстроизнашивающихся узлов	Применение минеральных реагентов, вакуум-насосов. Периодические замены фильтровальной ткани. Повышенный расход электроэнергии
Центрифуги	Компактность установок. Возможность работы по безреагентным схемам и с применением флокулянтов	Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодической наплавки или замены шнеков. Повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливноэнергетические расходы на термосушку
Ленточные фильтр-прессы	Отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов. Сокращение расхода электроэнергии. Отсутствие необходимости выделения крупных включений и песка из осадков	Повышенные габариты по сравнению с центрифугами. Возможность распространения запаха. Увеличенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливноэнергетические расходы на термосушку. Необходимость периодической замены фильтровальной ткани
Камерные и рамные фильтр-прессы	Низкая влажность обезвоженного осадка и топливноэнергетические расходы на термосушку и сжигание	Низкая удельная производительность. Повышенный расход реагентов. Периодичность действия. Необходимость замены фильтровального полотна по мере износа

При выборе оборудования для обезвоживания осадков сточных вод большое значение имеет увязка их параметров и режима работы со всей технологической схемой обработки и утилизации осадков, а также с работой сооружений по очистке сточных вод.

В настоящее время наиболее популярными методами обезвоживания на городских очистных сооружениях являются центрифуги и ленточные фильтр-прессы, что связано с их надежностью в работе и экономической эффективностью. Камерные фильтр-прессы дороже других типов фильтр-прессов, поэтому используются на более крупных очистных сооружениях.

6.5 Термическая сушка осадков сточных вод

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод. Перед подачей на сушку необходимо произвести максимальное обезвоживание осадков. После термической сушки осадок представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухой (влажностью 10–50 %) сыпучий материал.

Существуют различные **способы термической сушки**: конвективный, радиационно-конвективный, кондуктивный, сублимационный в электромагнитном поле. Наиболее распространенным является конвективный способ сушки, при котором необходимая для испарения влаги тепловая энергия непосредственно передается высушиваемому материалу теплоносителем – сушильным агентом.

В качестве сушильного агента могут использоваться топочные газы (предпочтительней), перегретый пар или горячий воздух.

Сушилки конвективного типа можно разделить на две группы:

1) *барабанные, ленточные, целевые и др.* – при продувке сушильного агента через слой материала частицы его остаются неподвижными;

2) *сушилки со взвешенным (псевдооживленным) слоем* (кипящим, фонтанирующим, вихревым) и *пневмосушилки* – частицы материала перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента.

Сушильная установка состоит из сушильного аппарата и вспомогательного оборудования: топки с системой топливоподачи, питателя, циклона, скруббера, тягодутьевых устройств, конвейеров и бункеров, контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Сушильные аппараты периодически заполняются осадком не более чем на половину рабочего объема. Затем включаются система обогрева сушилок и вакуум-насосы, создающие разрежение в аппарате. Вторичный пар, образующийся вследствие испарения воды осадка, поступает в барометрический конденсатор и оттуда в виде конденсата направляется на очистные сооружения.

На малых установках для конденсации вторичного пара можно применять теплообменники. Концентрация загрязнений в конденсате вторичного

пара определяется уносом загрязняющих веществ с конденсатом и наличием летучих органических веществ.

Температура осадка в процессе сушки изменяется от 50–85 °С (кипение) до 30–40 °С (в конце сушки). При температуре около 85 °С происходит дегельминтизация осадка.

Термическая сушка жидких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Она может быть экономически целесообразна для сушки относительно небольших объемов осадков, например, для сушки активного ила и использования его в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Для такой сушки обычно применяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем при температуре теплоносителя не более 250 °С.

Барабанные сушилки (рисунок 6.23) работают по схеме с прямоточным движением осадка и сушильного агента, в качестве которого применяют топочные газы.

Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры и вентиляционного устройства. Со стороны входа находится загрузочная камера, а со стороны выхода – разгрузочная камера. Топка расположена со стороны входа в сушильную камеру. Для отсоса отработавших газов устанавливают вентилятор. Барабан установлен наклонно к горизонту с углом 3–4°, покоится на катках и имеет привод, от которого осуществляется вращение. Температура топочных газов на входе в сушилку 600–800 °С, на выходе из нее – 170–250 °С. Осадок перед его загрузкой в барабан требует некоторой обработки. Влажность поступающего в барабан осадка должна быть не более 50 %, иначе он будет прилипать к внутренней поверхности барабана. Для снижения влажности поступающего в барабан осадка к нему необходимо добавлять ранее высушенный осадок.

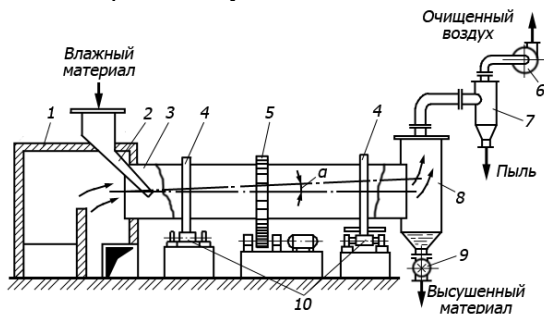


Рисунок 6.23 – Схема барабанной сушилки:

- 1 – топка; 2 – бункер; 3 – барабан; 4 – бандаж; 5 – зубчатое колесо; 6 – вентилятор; 7 – циклон; 8 – приемный бункер; 9 – шлюзовый питатель; 10 – опорные ролики

Осадок перемещается в барабане благодаря движению топочных газов и вращению барабана. Частота вращения барабана – 1,5–8 об/мин. Для равномерного распределения осадка по сечению барабана внутри устанавливают насадки (винтовая, лопастная или секторная). Для измельчения и пере-

мешивания осадка в начале и конце сушилки дополнительно устанавливаются корабельные цепи, свободно подвешиваемые к внутренней поверхности барабана.

После сушки в барабанной сушилке осадок не загнивает, не содержит гельминтов и патогенных микроорганизмов, имеет влажность 20–30 %.

Серийные барабанные сушилки выпускаются диаметром 1–3,5 м и длиной 4–27 м.

Барабанные сушилки имеют большую единичную производительность, но малое напряжение по влаге, что обуславливает их большие габариты, массу и металлоемкость. Они имеют низкий КПД, требуют высоких капитальных затрат и относительно сложны в эксплуатации.

Сушилки со встречными струями газозвеси получили распространение в последние годы. Сущность метода сушки во встречных струях заключается в том, что частицы материалов, находясь во взвешенном состоянии в горячем газовом потоке, т.е. образуя вместе с ним так называемую газозвесь, движутся по соосным горизонтальным трубам навстречу друг другу и в результате ударной встречи струй вступают в колебательное движение, проникая из одной струи в другую. Это приводит к увеличению истинной концентрации материалов в зоне сушки. При достаточно высоких скоростях сушильного агента происходит измельчение материала. При этом также увеличивается суммарная площадь поверхности тепло- и массообмена.

Основными элементами сушильной установки (рисунок 6.24) являются аппарат со встречными струями, который выполнен в виде двух горизонтальных разгонных труб, врезанных в вертикальную пневмотрубу, и воздушно-проходной сепаратор.

Обезвоженный осадок подается ленточным конвейером 11 и шнековыми питателями 13 в сушильный элемент со встречными струями 14, выполненный в виде двух труб, врезанных в вертикальный стояк 16. Сушка производится по ретурной схеме, т.е. с добавкой высушенного осадка к осадку, подаваемому на сушку. Высушенный гранулированный осадок выгружают из аэрофонтанного аппарата 17. Кек с ретуром смешивают в шнековом питателе, обеспечивающем подачу однородной по составу и влажности смеси.

Вторая ступень сушки проходит в сепараторе воздушно-проходного типа (аэрофонтане) 17. В нем увеличивается время контакта сушильного агента с осадком и происходит классификация частиц. Крупные частицы осадка через шлюзовый затвор 19 поступают в бункер готового продукта, а мелкие частицы потоком сушильного агента увлекаются в водяной скруббер 27.

Сушилки со встречными струями имеют производительность 0,7–3 т/ч по испаряемой влаге. Эти сушилки по сравнению с барабанными сушилками позволяют сократить капитальные затраты в 3–4 раза, а эксплуатационные – на 15 %.

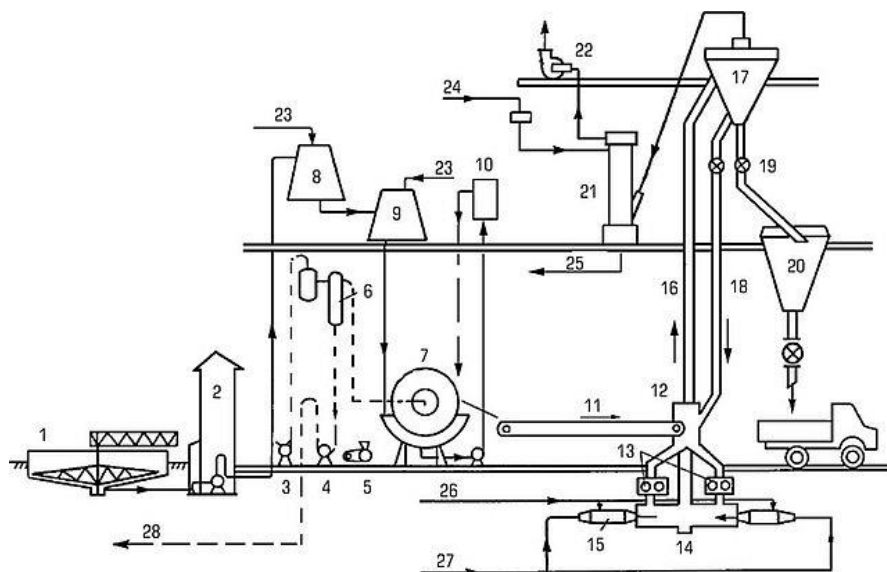


Рисунок 6.24 – Схема установки для термической сушки механически обезвоженных осадков в сушилке со встречными струями:

1 – осадкоуплотнитель; 2 – насосная станция; 3 – вакуум-насос; 4 – насос для откочки фильтра; 5 – компрессор; 6 – ресивер; 7 – вакуум-фильтр; 8, 9 – месители; 10 – емкость для ингибированной кислоты; 11 – ленточный конвейер для подачи осадка; 12 – приемная камера; 13 – двухвалковые шнековые питатели; 14 – сушильная камера с разгонными трубами; 15 – камеры сгорания; 16 – вертикальный стояк; 17 – сепаратор воздушно-проходного типа; 18 – трубопровод ретура; 19 – шнековые затворы; 20 – подача сухого осадка в бункер готового продукта; 21 – водяной скруббер; 22 – вентилятор; 23 – подача реагентов; 24 – подача воды; 25 – отвод шлама; 26 – подача газа; 27 – подача воздуха; 28 – отвод фильтра

Пневматические сушилки (трубы-сушилки) применяют за рубежом. Обезвоженный осадок предварительно смешивают с термически высушенным и измельчают в сушильной мельнице. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, по которой происходит движение снизу вверх топочных газов и взвешенных в их потоке частиц осадка.

Высушенный осадок с влажностью 10–15 % отделяют от отходящих газов в циклоне и с помощью раздаточного узла либо расфасовывают, либо подают в печь, где его сжигают. Туда же отсасывающим вентилятором подают запыленные отходящие газы. Часть обезвоженного осадка шнековым питателем подают в сушильную мельницу.

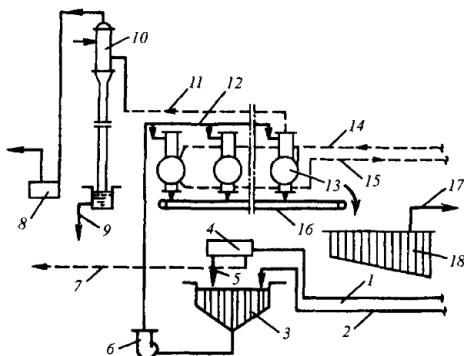
В последние годы широкое применение получили сушилки с подвижным слоем. В сушилке с фонтанирующим слоем влажный осадок с помощью питателя подается в сушильную камеру. Теплоноситель, поступающий в ее нижнюю часть через газораспределительную решетку, подхватывает

частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Таким образом происходит циркуляция осадка в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство.

Вакуумные сушилки рекомендуется применять на станциях пропускной способностью до 50 тыс. м³/сут. Можно проводить вакуум-сушку сырого осадка, активного ила или их смеси. Перед вакуум-сушкой надо снизить влажность осадка, например центрифугированием (рисунок 6.25).

Рисунок 6.25 – Технологическая схема вакуум-сушки осадков:

- 1 – уплотненный избыточный активный ил;
- 2 – сырой осадок из первичных отстойников;
- 3 – резервуар-смеситель;
- 4 – центрифуга;
- 5 – центрифугированный активный ил;
- 6 – насос для подачи осадка в сушилку;
- 7 – фугат в азотенки;
- 8 – вакуум-насос;
- 9 – конденсат вторичного пара;
- 10 – барометрический конденсатор;
- 11 – вторичный пар в конденсатор;
- 12 – исходный осадок в сушилке;
- 13 – вакуум-сушилки;
- 14 – пар от котельной;
- 15 – конденсат в котельную;
- 16 – конвейер сухого осадка;
- 17 – сухой осадок;
- 18 – бункер сухого осадка



Сырой осадок поступает в резервуар-смеситель из первичных отстойников. В сушильные аппараты поступает смесь осадков влажностью 90–92 % с помощью плунжерных насосов.

Обычно применяются барабанные вакуум-сушилки гребкового типа. После вакуум-сушки осадки имеют гранулированный вид с влажностью 30–40 %. Сушка осадка производится с помощью обогревающих рубашек с водяным паром с температурой насыщения 150 °С. Сушильные аппараты периодически заполняются осадком не более чем на половину рабочего объема. Затем включаются система обогрева сушилок и вакуум-насосы, создающие разрежение в аппарате. Вторичный пар, образующийся вследствие испарения воды осадка, поступает в барометрический конденсатор и оттуда в виде конденсата направляется на очистные сооружения. На малых установках для конденсации вторичного пара можно применять теплообменники. Концентрация загрязнений в конденсате вторичного пара определяется уносом загрязняющих веществ с конденсатом и наличием летучих органических веществ.

Температура осадка в процессе сушки изменяется от 50–85 °С (кипение) до 30–40 °С (в конце сушки). При температуре около 85 °С происходит дегельминтизация осадка. После окончания сушки вакуум отключается и су-

хой продукт выгружается на конвейер системой гребков реверсивного вращения.

Цикл вакуум-сушки осадков составляет 5–10 ч и зависит от исходной и конечной влажности осадков.

Термическая сушка жидких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Она может быть экономически целесообразна для сушки относительно небольших объемов осадков. Для такой сушки обычно применяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем при температуре теплоносителя не более 250 °С.

Для хранения высушенного осадка проектируются иловые площадки, рассчитываемые на трех-, четырехмесячное хранение.

6.6 Обеззараживание осадков сточных вод

Осадки городских сточных вод содержат значительное количество микроорганизмов (в том числе и патогенных), вирусов, яиц гельминтов, сальмонелл и поэтому являются опасными в санитарном и инфекционном отношении. В связи с этим осадки должны подвергаться обеззараживанию. Степень обеззараживания осадков контролируется по содержанию в них яиц гельминтов, патогенных и условно-патогенных бактерий, сальмонелл, энтеробактерий и кишечной палочки. При необходимости определяется содержание в осадках возбудителей различных заболеваний.

При использовании осадков в качестве удобрений в них не должно быть сальмонелл и жизнеспособных яиц гельминтов, число кишечных палочек не должно превышать 10^4 , а энтерококков – 10^3 кл/л.

Осадки могут обеззараживаться в жидком виде, после подсушивания на иловых площадках и после механического обезвоживания.

Для обеззараживания и обезвреживания осадков применяются методы:

- *термические* (прогревание, сушка, сжигание);
- *биотермические* (компостирование);
- *химические* (обработка химическими веществами);
- *биологические* (уничтожение микроорганизмов простейшими, грибами и растениями грунта).

Также может использоваться физическое воздействие: радиация, ток высокой частоты, ультразвук, ультрафиолетовое облучение.

В наше время на практике используются в основном термические, биохимические, химические методы обеззараживания осадков, а также с применением инфракрасного излучения.

Обеззараживание жидких осадков нагреванием до температуры 100 °С при экспозиции в несколько минут обеспечивает гибель яиц гельминтов и отмирание патогенных микроорганизмов. При температурах 52–56 °С на

протяжении 5 мин гибнет много патогенных бактерий, при температуре – 62–74 °С и продолжительности экспозиции около 30 мин отмирают вирусы.

Чаще всего термическая стабилизация осадков осуществляется в трубчатых теплообменниках, используя в качестве теплоносителя горячие газы или пар, или в устройствах типа аппаратов углубления горения. Однако следует учитывать, что стабилизация теряет смысл, если потом осадок долго не утилизируется, так как в нем могут повторно развиваться микроорганизмы, опасные в санитарном отношении.

Химическое обеззараживание осадков осуществляется в случае дальнейшего использования их в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения. Для химического обеззараживания осадков используется аммиак, тиазол, формальдегид и мочевины. Остаточное содержание в осадках названных веществ предотвращает реактивацию патогенных микроорганизмов и поддерживает стабильность осадков.

За рубежом, в частности в США, большое распространение получила обработка осадков гашеной и негашеной известью, в результате чего достигается их стабилизация и обеззараживание, улучшается водоотдающая способность. Введение гашеной извести в осадок создает щелочную среду, что приводит к прекращению процессов гниения и к гибели яиц гельминтов. Продолжительность выдерживания осадка после обработки гашеной известью должна быть свыше двух суток при начальном значении рН около 12,5. Более эффективным является использование негашеной извести, при смешении которой с осадком температура его возрастает до 55–70 °С за счет экзотермических реакций.

Радиационный способ обеззараживания осадка состоит в его обработке ускоренными электронами и гамма-излучением дозой в 1 Мрад и выше, что полностью уничтожает патогенные бактерии и яйца гельминтов. После такой обработки осадок может беспрепятственно использоваться как удобрение. При облучении необходимо создавать равномерный слой осадка толщиной, которая не превышает проникающую способность электронов.

Дегельминтизация осадков, т. е. уничтожение яиц гельминтов, осуществляется как в жидких, так и в механически обезвоженных осадках. Наиболее просто дегельминтизируют жидкие осадки: в них вводят острый пар и перемешивают всю массу осадка для прогревания до температуры 60–65 °С.

Для гельминтизации механически обезвоженных осадков применяется установка с газовыми горелками инфракрасного излучения (рисунок 6.26).

Она состоит из пластинчатого конвейера с приемочным бункером и газовых горелок инфракрасного излучения. В середине приемочного бункера есть специальные рамки, которые формируют на конвейере слой осадка толщиной 10–25 мм. Двигаясь на конвейере, осадок прогревается до 60 °С.

Такие установки рекомендуется использовать на станциях пропускной способностью до 20–30 тыс. м³/сут сточных вод.

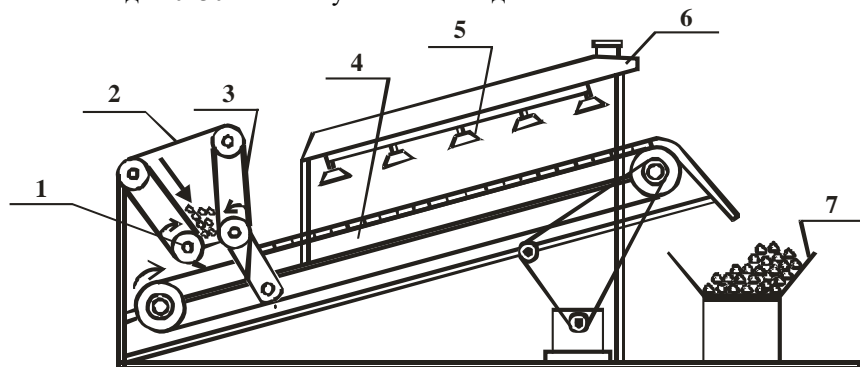


Рисунок 6.26 – Схема установки для дегельминтизации осадков:

1 – регулировочные валы; 2 – приемочный бункер осадка; 3 – подвижные стенки бункера; 4 – металлическая лента конвейера; 5 – газовые горелки инфракрасного излучения; 6 – вытяжной зонтик; 7 – конвейер обработанного осадка

Биотермическая обработка (компостирование осадков сточных вод). Эффективность биотермического процесса зависит от физико-химического состава осадков, условий жизнедеятельности микроорганизмов, типа наполнителей, условий аэрации, гомогенизации и тепломассообмена. Разработаны технологические схемы биотермической обработки механически обезвоженных или подсушенных на иловых площадках осадков сточных вод в штабелях с наполнителями, в штабелях совместно с твердыми бытовыми отходами, в биобарабанах на мусороперерабатывающих заводах, в траншеях с перемешиванием, гомогенизацией и насыщением воздухом. В процессе биотермического разложения органических соединений осадков под действием микроорганизмов наблюдается переход от мезофильного к термофильному режиму, в связи с чем возрастают скорости биотермических реакций.

При осуществлении биотермического процесса в аэробных условиях компостирование осадка осуществляется с наполнителями: твердыми бытовыми отходами, тирсой, листьями, корой, сухим осадком сточных вод. Штабели компоста имеют высоту 1,5–3 м – при естественной и до 5 м при принудительной аэрации. Для формирования штабелей используют механизмы – краны, бульдозеры, экскаваторы. Для аэрации в основание укладывают перфорированные трубы диаметром 100–200 мм с отверстиями диаметром 5–10 мм. Расход воздуха составляет 10–25 м³/ч на 1 т органического вещества осадка. Для сбора поверхностного сточных вод по контуру траншеи устраивают лотки.

Компостируемую массу необходимо укрывать каким-либо материалом для теплоизоляции и предотвращения размножения мух. Продолжительность процесса компостирования в штабелях составляет 3–4 месяца. Компост получает вид сыпучего материала. Он содержит необходимые элементы для роста и развития растений, вещества, повышающие плодородность грунтов, полезную микрофлору.

При биотермической обработке смеси осадка сточных вод и твердых бытовых отходов последние перед компостированием подвергаются сортировке и измельчению, из них удаляются черные и цветные металлы. Если компостирование смеси твердых бытовых отходов и осадка осуществляется на мусороперерабатывающих заводах, то в этом случае могут использоваться специальные аппараты – ферменторы, биобарабаны, а также штабели с механизацией всех работ, связанные с их эксплуатацией.

6.7 Сжигание осадков сточных вод

Сжигание осадков применяется, если их утилизация невозможна или экономически нецелесообразна. Сжигание является рентабельным при обработке осадка от 7,5 тыс. т в год по сухому веществу [30].

Сжигание – это процесс окисления органической части осадков до нетоксичных газов (диоксид углерода, водяные пары и азот) и золы. Перед сжиганием осадки должны быть или механически обезвожены, или подвергнуты термической сушке, или пройти оба процесса.

Возможное присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов может вызвать серьезные трудности при очистке этих газов перед выбросом их в атмосферу. Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревание, сушка, отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокаливание для выгорания остатков углерода.

Возгорание осадка происходит при температуре 200–600 °С. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700–1000 °С.

Для сжигания осадков наибольшее распространение получили многоподовые печи, печи кипящего слоя и барабанные вращающиеся печи.

Многоподовые печи. Корпус многоподовой печи представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Топочное пространство печи разделено по высоте на семь-девять горизонтальных подов. В центре печи имеется вертикальный вал, на котором укреплены горизонтальные фермы гребковых устройств. Каждый под имеет отверстия, расположенные у одного пода на периферии, а у другого – в центральной части.

Осадок подается конвейером через загрузочный люк в верхнюю камеру печи, перемещается гребками к пересыпному отверстию, сбрасывается на лежащий ниже под и т. д.

На верхних подах осадок сушится, на средних – органическая часть осадка сгорает при температуре 600–900 °С, а на нижних – охлаждается зола перед сбросом в бункер. Из печи газы отводятся в мокрый пылеуловитель и дымососом выбрасывается в атмосферу.

Многоподовые печи просты и надежны в эксплуатации. К их недостаткам относятся высокая строительная стоимость, большие габариты, частый выход из строя гребковых устройств.

Печь кипящего слоя представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Внутри печи имеется топочная камера, конусная часть с воздухораспределительной беспровальной решеткой и куполообразным сводом. На решетке насыпан песок крупностью 0,6–2,5 мм слоем 0,8–1 м. Кипящий слой песка создается при продувании воздуха через решетку со скоростью, при которой частицы взвешиваются в газовом потоке. Воздух подается воздуходувкой, нагревается в рекуператоре дымовыми газами и подается под решетку. Осадок подается в печь через загрузочный бункер и шнековый питатель.

В кипящем слое происходит интенсивное перемешивание осадка с кварцевым песком, мгновенное испарение влаги и выделение летучих органических веществ. Весь процесс длится 1–2 мин.

Мелкая зола и пыль выносятся из печи потоком отходящих газов, поступающих в рекуператор (воздухоподогреватель). Для охлаждения отходящих газов между входом в рекуператор подается холодный воздух. Из рекуператора под давлением нагретый воздух, проходя с определенной скоростью через решетку, обеспечивает поддержание псевдоожиженного слоя.

Если при сгорании органической части осадка недостаточно собственной теплоты, то для поддержания процесса горения с помощью горелок сжигается дополнительное топливо. Дымовые газы, охлажденные в рекуператоре, проходят мокрую пылеочистку, освобождаются от золы и пыли и выбрасываются в атмосферу.

Достоинства печей кипящего слоя являются компактность установок, интенсивность процесса, возможность сжигания осадков различной влажности; недостатками – большая запыленность отходящих газов и необходимость устройства рекуператоров.

Барабанные вращающиеся печи за рубежом применяют для сжигания осадков в смеси с городским мусором. В отличие от барабанной сушилки, барабан вращающейся печи наклонен в сторону топки. Обезвоженный осадок загружается с противоположного от топки конца барабана. По мере продвижения внутри барабана осадок сначала подсушивается, а затем сгорает. Горячая зола из топки поступает в воздушный охладитель и оттуда пневмотранспортом направляется в приемный бункер и вывозится. Отходящие газы отсасываются дымососом, проходят мокрый пылеуловитель и выбрасываются в атмосферу. Температура газов в зоне сушки 200 °С, а в зоне

сжигания 900–1000 °С. В зоне сушки внутри барабана устроены насадки для перемешивания и дробления осадка.

Барабанные печи имеют небольшую запыленность отходящих газов и могут располагаться на открытом воздухе, кроме топочной части и камеры загрузки. Недостатками вращающихся барабанных печей являются громоздкость, большие капитальные затраты и относительная сложность эксплуатации.

Циклонные печи применяются относительно редко и служат для сжигания жидких или мелкодисперсных сухих материалов. Для сжигания осадков в циклонной печи необходима их предварительная термическая сушка и тщательное измельчение. Обычно установка с циклонными печами состоит из сушильного аппарата, измельчителя осадка, циклонной печи, камеры дезодорации газов, мокрой пылеочистки дымососа, дымовой трубы.

6.8 Утилизация осадков сточных вод

В конце XX в. в числе обострившихся экологических проблем существенное место заняла обработка и утилизация осадков, образующихся в процессе очистки сточных населенных пунктов. Наиболее актуальной эта проблема стала для крупных городов. В Европе и в странах региона Балтийского моря существуют различные стратегии утилизации осадка. В таких странах, как Нидерланды, Бельгия и Швейцария, сельскохозяйственное использование осадка сточных вод запрещено или ограничено, поэтому осадок сжигают. В других странах (например, в Финляндии, Эстонии и Норвегии) компостированный осадок применяется для благоустройства зеленых зон. В некоторых странах, например, в Исландии, Мальте и Греции, весь осадок вывозится на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО). В России и Беларуси было распространено обезвоживание и хранение осадков на иловых площадках.

В осадке сточных вод содержатся не только высокие концентрации биогенных элементов, таких как фосфор, азот и углерод, но и загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы (кадмий, ртуть) и органические загрязнители. Их концентрации в осадках сточных вод зависят от характера поступающих на очистку хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Высокие концентрации меди и цинка часто поступают с хозяйственно-бытовыми сточными водами, кадмий, хром, ртуть и свинец – с производственными.

Сравнение методов утилизации осадков сточных вод приведено в таблице 6.5. Практическое использование конкретного метода чаще всего обусловлено действующими национальными нормами и политическими целями.

Наиболее распространенным видом конечной утилизации осадков сточных вод является их *внесение в почву в качестве удобрений* на сельскохозяйственных землях, при рекультивации, в лесном хозяйстве. При этом может вноситься как необработанный осадок в жидком виде, так и после обработки

в виде обезвоженного, высушенного осадка или продукта после компостирования осадка с различными наполнителями.

Таблица 6.5 – Сопоставление методов утилизации осадков сточных вод

Наименование	Сжигание	Пиролиз	Производство удобрений	Производство почвогрунтов
Ограничение применения в зависимости от состава осадков	Нет	Повышенные требования к пожаровзрывоопасности	Соответствие требованиям нормативных документов на использование ОСВ в качестве удобрений и для приготовления почвогрунтов	
Экономические затраты на реализацию	Высокие затраты на обезвоживание ОСВ и очистку дымовых газов	Средние	Низкие	
Получение полезных продуктов	Нет	Пиролизный газ (для получения тепловой энергии)	Удобрение для широкого спектра культур (в зависимости от состава)	Почвогрунт
Экологические последствия от внедрения	Снижение массы отходов на 60–70 % (на сухое вещество). Загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу	Снижение массы отходов на 60–70 % (на сухое вещество)	Минимальные (при соблюдении требований соответствующих стандартов)	
Количество вторичных отходов	30–35 % от массы отходов (зола, содержащая токсичные элементы)	50 % от массы ОСВ. Твердые продукты пиролиза, содержащие токсичные элементы	Нет	
Утилизация вторичных отходов	Возможность использования золы в дорожном строительстве	Возможность использования в дорожном строительстве	Не требуется	

Осадки содержат макро- и микробиогенные элементы, необходимые для питания растений и повышения плодородия почв. Причинами, сдерживающими использование осадков, являются их высокая влажность, трудность удаления с иловых площадок, несовершенство механизмов и транспортных средств для уборки осадков, а также содержание в них солей тяжелых металлов и наличие патогенной микрофлоры. В некоторых странах Европы, например в Германии, в сельском хозяйстве можно применять жидкие осадки сточных вод без обезвоживания, однако для охраны подземных вод от загрязнений строго контролируется количество вносимого в почву осадка. В Норвегии и Нидерландах перед внесением в почву в качестве удобрения ОСВ обрабатывают путем сушки и гранулирования. Необходимыми условиями подготовки ОСВ к утилизации в качестве удобрения являются предварительное обеззараживание осадков, а также прекращение либо значительное ограничение приема в городскую канализацию производственных сточных вод, содержащих значительное количество токсичных веществ.

Одним из направлений использования энергетического потенциала осадка сточных вод является *утилизация биогаза*, образующегося при сбраживании осадка. Так, в Польше в г. Щецин, на станции *Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp z.o.o. w Szczecinie ZWiK* осадки сточных вод подвергают мезофильному сбраживанию при температуре 37 °С на протяжении одного месяца. Полученный биогаз используется на высокопроизводительной ТЭЦ для производства электроэнергии, которой хватает как для работы самой ТЭЦ, так и для удовлетворения потребностей в электроэнергии очистных сооружений. В г. Бресте осадок сточных вод совместно с бытовыми отходами подвергается сбраживанию в метантеках с получением биогаза.

Другими известными способами реализации энергетического потенциала осадков сточных вод являются *сжигание и пиролиз*. Преимуществами этих термических методов утилизации ОСВ являются значительное снижение объема и массы утилизируемого отхода и минимизация его негативного воздействия на окружающую среду. Проблема содержания тяжелых металлов может быть лимитирующим фактором, поскольку при сжигании тяжелые металлы могут присутствовать в выбросах дымовых газов и содержаться в золе, образующейся при сжигании. Данная проблема решается использованием систем фильтрования выпускаемых газов сжигания.

При сжигании осадков сточных вод необходимо предусматривать утилизацию золы после сжигания.

В результате пиролиза ОСВ также образуются вторичные отходы, в том числе твердый остаток (органоминеральная композиция).

Перспективным направлением использования вторичных отходов, образующихся при сжигании и пиролизе ОСВ, является их *применение в составе сырьевых смесей в производстве строительных материалов*. На практике

это означает, что, помимо энергетического, реализуется также материальный потенциал исходного отхода.

В большинстве стран мира, в том числе в России и Республике Беларусь, самый нежелательный с точки зрения иерархии методов обращения с отходами способ, заключающийся в размещении ОСВ на илонакопителях или полигонах ТБО, до сих пор является наиболее распространенным. Популярность данного метода обращения с ОСВ обусловлена как простотой его использования, так и низкими затратами. Объекты, служащие для депонирования ОСВ, наносят большой ущерб окружающей среде и занимают большие территории. В связи с этим в ряде европейских стран (например в Германии) законодательно запрещено депонировать осадки на площадках. При вывозе на полигон теряется потенциал осадка как источника биогенных элементов и энергии.

Наиболее эффективными являются термические способы утилизации ОСВ с последующим применением вторичных отходов в производстве строительных материалов, поскольку такой подход позволяет использовать как энергетический, так и материальный потенциал ОСВ.

7 КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

7.1 Компоновка плана очистных сооружений

Выбор площадки под очистные сооружения осуществляется в увязке с проектом планировки и застройки населенного пункта, а также с учетом наивыгоднейших решений размещения коммуникаций, связывающих очистные сооружения с населенным пунктом (железные и автомобильные дороги, водоснабжение, теплоснабжение и электроснабжение очистной станции). В то же время место для очистной станции должно быть выбрано по возможности ближе к месту выпуска сточных вод.

Площадка расположения очистных сооружений выбирается в соответствии с розой ветров, как правило, с подветренной стороны для преобладающих ветров теплого периода года относительно жилой застройки и ниже населенного пункта по течению водного объекта.

Очистные сооружения от границ жилой застройки отделяются санитарно-защитными зонами, размеры которых зависят от расчетного расхода, необходимой степени очистки и состава сооружений (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Размеры санитарно защитных зон

Сооружения	Санитарно-защитная зона, м, прирасчетной производительности сооружений, тыс. м ³ /сут			
	0,2	0,2–5,0	5,0–50	50–280
Механической и биологической очистки с иловыми площадками для сброженных осадков, а так же отдельно расположенные иловые площадки	150	200	400	500
Механической и биологической очистки с тепломеханической обработкой осадков в закрытых помещениях	100	150	300	400
Поля фильтрации	200	300	500	–
Биологические пруды	200	200	300	300

Состав очистных сооружений обосновывается технико-экономическими расчетами и зависит:

- от пропускной способности;
- требуемой степени очистки сточных вод;

– выбранного метода обработки и использования осадков.

При разработке генплана очистных сооружений необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

1 Местоположение территории и отдельных сооружений и общая планировка очистной станции должны обеспечивать наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод (все сооружения должны быть доступны для ремонта и обслуживания).

2 Компоновка всех сооружений должна обеспечивать возможность строительства очистной станции по очередям и рациональное использование территории с учетом перспективного расширения в связи с увеличением притока сточных вод.

3 Технологические и инженерные коммуникации прокладываются по наиболее коротким направлениям, компактно, преимущественно вдоль проездов.

4 Воздуховоды и тепловые сети прокладываются на низких опорах с устройством переходов над или под проездами.

5 Все сооружения должны быть расположены более компактно. Целесообразно блокировать отдельные сооружения в группы.

6 Разрывы между отдельными сооружениями должны быть минимальными и в то же время обеспечивать возможность очередности строительства. Предварительно они могут намечаться следующими:

– для группы одноименных сооружений – 2–3 м;

– группы разноименных сооружений – 5–10 м;

– группы сооружений механической и биологической очистки – 15–20 м;

– сооружений и иловых площадок с учетом обсадки их деревьями – 25–30 м;

– метантенков, газгольдеров (в зависимости от их емкости) – 20–50 м.

7 К каждому сооружению должен быть обеспечен подъезд транспорта для доставки материалов при ремонте.

8 Сооружения необходимо располагать симметрично для равномерного распределения сточных вод между ними.

9 На территории станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: котельная, воздухоудвная станция, лаборатория, административный корпус, мастерские, гараж и др.

Состав и площадь вспомогательных и бытовых помещений принимаются в зависимости от производительности станции, технологии очистки сточных вод, степени автоматизации, наличия у эксплуатирующей организации централизованного диспетчерского пункта, необходимости присутствия обслуживающего персонала, наличия мастерских по ремонту оборудования с учетом соблюдения санитарно-гигиенических требований к условиям труда обслуживающего персонала.

При организации лабораторного контроля на станции очистки сточных вод предусматриваются лабораторные помещения, состав и площади которых принимаются по таблице А.7 в зависимости от производительности, технологии очистки сточных вод, количества обрабатываемых проб и выполняемых определений, степени автоматизации.

10 Территория станции должна быть ограждена, благоустроена, озеленена, освещена и иметь дороги с искусственным покрытием и пешеходные дорожки к каждому сооружению и зданию.

При проектировании очистных сооружений необходимо предусматривать:

- устройства для равномерного распределения сточных вод и осадка между отдельными сооружениями, а также для отключения сооружений, каналов и трубопроводов на ремонт без нарушения режима работы комплекса, для опорожнения и промывки сооружений и коммуникаций;

- устройства для измерения расходов сточных вод, осадка, воздуха, биогаза;

- максимальное использование вторичных энергоресурсов (биогаза, тепла сжатого воздуха и сточных вод) для нужд станции очистки;

- устройство опломбированного аварийного выпуска из приемной камеры и после сооружений механической очистки;

- оборудование для контроля качества поступающих и очищенных сточных вод;

- автоматизацию процессов, связанных с эксплуатацией и контролем очистки сточных вод.

Компоновка генерального плана очистной станции осуществляется после технологических и гидравлических расчетов сооружений по очистке воды и обработки осадков, лотков, трубопроводов, каналов, соединяющих сооружения между собой, после определения типовых или индивидуальных габаритов основных и вспомогательных производственных зданий, подсобных помещений. Разработка генерального плана производится с учетом санитарных требований, пожарной профилактики и техники безопасности. В зависимости от производительности очистной станции и состава ее сооружений, генеральный план составляется в масштабе 1:200, 1:500 или 1:1000.

На генеральный план наносятся основные и вспомогательные сооружения и здания, подводящие и отводящие лотки, каналы и трубопроводы, дороги, трубопроводы водопровода, канализации, дренажных вод, сети теплоснабжения, кабельная и телефонная сети, трансформаторная подстанция, котельная, мастерские, склады, административное здание, проходная, указываются на генплане расстояния между сооружениями, дорогами, забором по возможности с четырех сторон (осуществляется привязка).

Пример компоновки аэротенков с первичными и вторичными отстойниками приведен на рисунке 7.1.

Генплан очистных сооружений производительностью производительностью более 20 тыс м³/сут – на рисунке 7.2.

Генплан очистных сооружений производительностью 70–100 тыс. м³/сут приведен на рисунке 7.3.

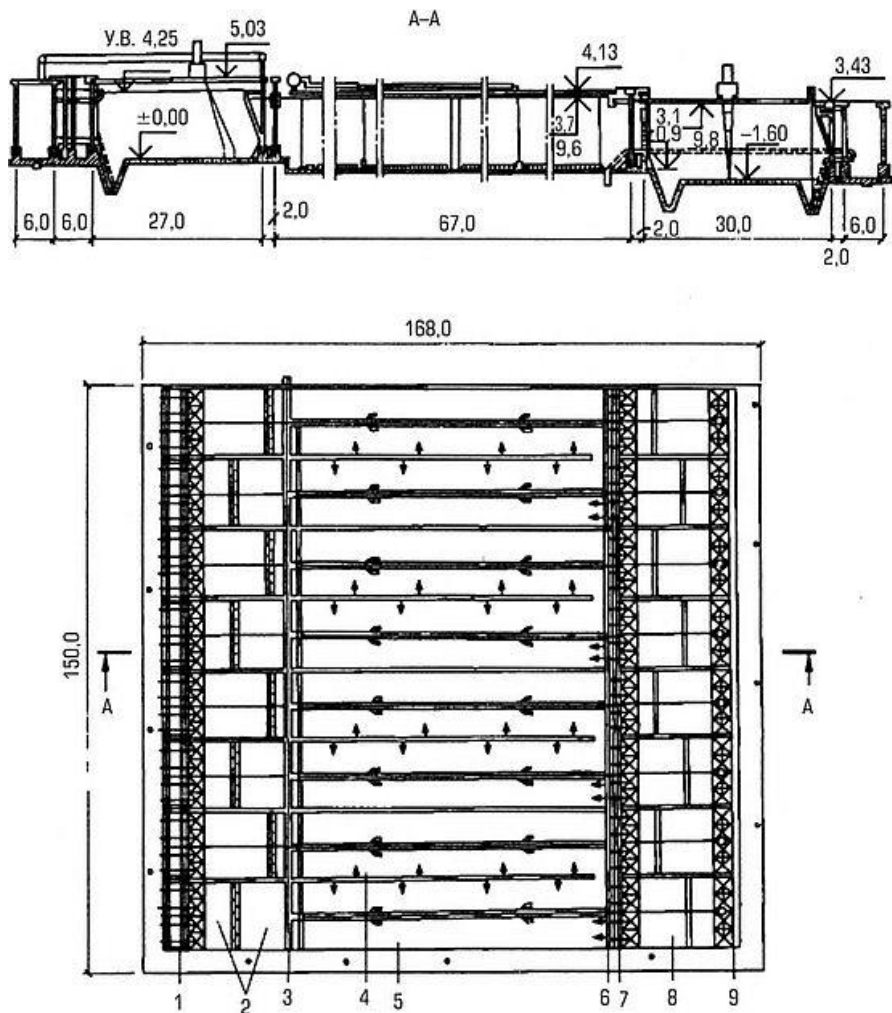


Рисунок 7.1 – Единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками
 1 – преаэратор, 2 – первичные отстойники; 3 – распределительный канал аэротенков, 4 – распределительный лоток аэротенков; 5 – аэротенк; 6 – лоток активного ила; 7 – распределительный канал вторичных отстойников; 8 – вторичный отстойник, 9 – контактный канал

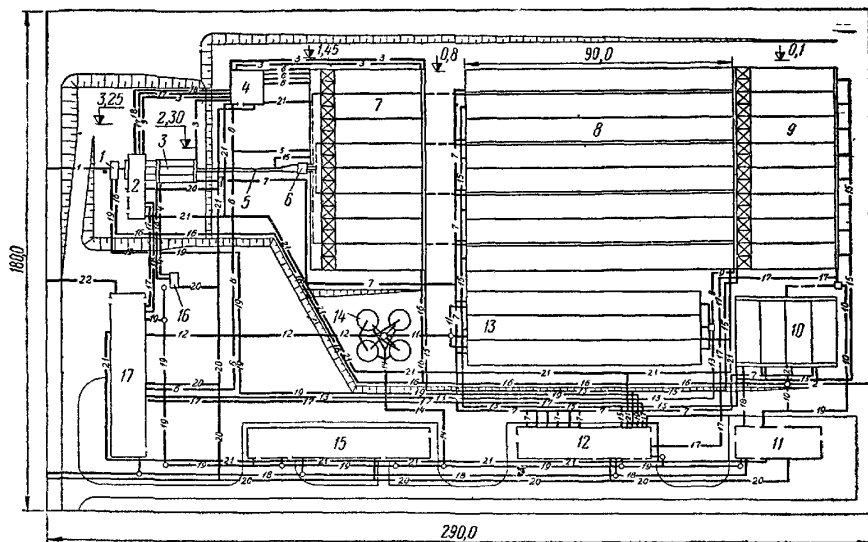


Рисунок 7.3 – Генплан очистных сооружений производительностью 70–100 тыс. м³/сутки

1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – аэрируемые песколовки; 4 – насосная станция песколовков и первичных отстойников; 5 – лоток Вентури; 6 – распределительная камера; 7 – первичные отстойники; 8 – аэротенки; 9 – вторичные отстойники; 10 – контактные резервуары; 11 – электролизерная установка; 12 – насосно-воздуходувная станция; 13 – стабилизаторы; 14 – илоуплотнители; 15 – блок: административно-бытовые помещения, лаборатория, мастерские; 16 – бункеры песка; 17 – корпус обезвоживания и сушки осадка; Трубопроводы: 1 – сточной воды; 2 – очищенных сточных вод; 3 – подачи воды на гидроэлеваторы для гидросмыва; 4 – пульпы; 5 – всплывающих веществ; 6 – сырого осадка; 7 – подачи воздуха; 8 – циркуляционного активного ила; 9 – избыточного активного ила; 10 – гипохлорита натрия; 11 – стабилизированного осадка; 12 – уплотненного стабилизированного осадка; 13 – фугата; 14 – иловой воды; 15 – для опорожнения сооружений; 16 – аварийного сброса; 17 – технической воды; 18 – противопожарный водопровод; 19 – бытовая канализация; 20 – теплотрасса; 21 – электрокабель; 22 – газопровод

7.2 Проектирование и расчет лотков, каналов и трубопроводов

Сточные воды должны проходить по всем очистным сооружениям самотеком; осадок из первичных отстойников, возвратный ил и избыточный активный ил обычно перекачиваются принудительно.

Для обеспечения самотечного движения воды по очистным сооружениям отметка поверхности воды в подводящем канале у приёмной камеры должна

превышать отметку воды в водоеме, при высоком горизонте воды в приёмнике сточных вод. Эта величина должна быть достаточной для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям, учитывая запас, равный 1–1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоем. Нормальная работа очистной станции в большой мере зависит от правильного определения гидравлических потерь на входе и выходе сточной воды из сооружений, при протекании её в каналах или трубопроводах, распределительных устройствах и др.

Сточные воды на станциях очистки транспортируются преимущественно самотеком по открытым железобетонным каналам прямоугольного сечения, а на отдельных участках – по трубам или дюкерам.

Каналы прокладываются с таким расчетом, что их стенки находятся на 10–15 см выше поверхности земли. Заглубление напорных труб и дюкеров принимается минимальным, но не менее 0,7 м до верха трубы на тех участках, где возможен наезд транспорта.

Коммуникации трассируются по тупиковой схеме и рассчитываются как короткие гидравлические системы, т. е. с учетом местных потерь напора и величин восстанавливаемого напора при уменьшении скорости потока.

Перед гидравлическим расчетом составляется расчетная схема и выделяются расчетные участки, границами которых являются точки измерения расхода (места разделения и слияния потока), изменения продольных уклонов, формы или размеров сечения каналов или трубы, отдельные сооружения.

Для каждого участка по обычной методике определяется расчетный расход. Он равен расчетной производительности тех очистных сооружений, к которым подается или от которых отводится вода к данному участку, при этом вводится повышающий коэффициент 1,4, учитывающий перспективное увеличение нагрузки на станцию очистки.

К расчету принимается ветвь от камеры гашения напора до выпуска, состоящая из ряда последовательно расположенных участков.

Потери классифицируются:

- 1) потери на трение при движении сточной воды по трубам и лоткам, соединяющим отдельные сооружения;
- 2) потери при изливе воды через водосливы, отверстия на входах и выходах в каналы, в конструктивных и контрольно-измерительных приспособлениях и приборах и др.;
- 3) потери в сооружениях очистной станции, в местах перепадов уровней воды и т.д.

Потери напора в отдельных сооружениях без учёта подводящих коммуникаций приведены в таблице 7.2.

Для упрощения предварительного построения высотного расположения сооружений, за исключением решёток, потери напора принимаются: половина на входе в сооружение, а вторая половина на выходе из него.

Таблица 7.2 – Перепад уровней на входе и на выходе из отдельных сооружений

Сооружение	Потери напора, м
Решетки	По расчету
Песколовки	0,1–0,25
Отстойники:	
горизонтальные	0,1–0,25
радиальные	0,4–0,6
вертикальные	0,5–0,7
Биофильтры со спринклерной распределительной системой	По расчету: ориентировочно $h + 2,5$ (h – высота загрузки); по расчету: ориентировочно $h + 1,0$
То же, с реактивной	0,5–0,8
Аэротенки	0,1–0,3
Контактные резервуары	0,4–0,6
Ершовые смесители	По расчету
Выпуск	По расчету, но не менее 1,0–1,5 м
Распределительная чаша (включая водослив на выходе)	По расчету, но не менее 0,25 м
Микрофильтры, барабанные фильтры	0,5–0,6 м
Песчаные фильтры	$h + 2,5$ (h – высота загрузки)

Для более точного определения отметок уровня воды в различных точках очистной станции учитываются потери на местные сопротивления:

- при входе и выходе воды из сооружений;
- в измерительных устройствах и смесителях;
- в местах поворотов, сужений или расширений каналов и т. п.

Значения коэффициентов местного сопротивления приведены в таблице А.6. Местные потери напора определяются по формуле Вейсбаха.

При назначении уклонов каналов необходимо обеспечить скорости не меньше минимальных (таблица А.8). По условиям производства работ уклоны дна каналов не должны быть меньше 0,001–0,0005.

Глубина воды в канале, как правило, должна находиться в пределах 0,4–0,75 м от ширины каналов. Расстояние от уровня воды до борта канала обычно принимается минимум 0,2–0,3 м.

Сопряжение участков выполняется по уровням воды, а при уменьшении ее глубины – по дну каналов, т. е. с перепадом.

Уклоны каналов принимаются близкими к уклонам поверхности земли, но если последние настолько велики, что скорость в каналах превышает 1,5–2 м/с, необходимо предусматривать перепады.

Для определения взаимного высотного расположения отдельных сооружений очистной станции одновременно с составлением генерального плана строятся профили движения воды, осадка и ила (профили «по воде» и «по илу»).

7.3 Высотная схема очистных сооружений

Высотное расположение сооружений оформляется графически в виде профилей по пути движения очищаемых сточных вод (профиль «по воде») и осадков (профиль «по илу») по очистным сооружениям и коммуникациям.

Горизонтальный масштаб для профилей принимается такой же, как и для генерального плана очистных сооружений (1:200; 1:500; 1:1000), а вертикальный – 1:100.

Трасса пути воды и осадка отмечается буквами или цифрами на генплане очистной станции и профилях, причем расчетные точки ставятся в местах изменения расчетных расходов, на входе и выходе воды и осадков в распределительные устройства и сооружения.

На профилях «по воде» и «по илу» должны быть указаны абсолютные отметки воды (ила), поверхности земли, планировки (подсыпки или срезки), отметки дна сооружений, каналов и лотков, отметки оси насосов. Под каждым сооружением на профиле указывается его название, а под коммуникациями даются их сечения и некоторые расчетные параметры.

Профиль движения сточных вод (профиль «по воде») представляет собой развернутый разрез по сооружениям, каналам, лоткам и трубопроводам, выполненный по самому длинному пути от приемной камеры очистных сооружений до выпуска очищенных стоков в водоем.

При проектировании профиля «по воде» стремятся расположить очистные сооружения так, чтобы движение очищаемых сточных вод по ним было самотечным и по возможности обеспечивался баланс земляных работ на площадке очистной станции, т. е. чтобы объем вынутого грунта при строительстве сооружений равнялся объему насыпей.

Для самотечного движения воды требуется каждое последующее сооружение располагать ниже предыдущего на величину необходимых перепадов и потерь напора на трение и местные сопротивления в сооружениях, распределительных чашах, лотках и трубопроводах. В связи с этим выбранная площадка под очистные сооружения должна иметь падение рельефа местности по направлению движения воды.

Для уменьшения объема земляных работ очистные сооружения не следует заглублять полностью в землю, лучше их располагать частично в насыпном грунте (на 1/3–1/2 часть высоты). Особенно это касается сооружений, имеющих большую высоту (вертикальные, двухъярусные отстойники и осветлители-перегиватели). Биофильтры (круглые в плане) являются исключением – их располагают на поверхности земли для свободного притока воздуха к вентиляционным устройствам и самотечного отвода очищенной воды на вторичные отстойники. Так как биофильтры имеют значительную строительную высоту (от 3 до 5 м), то и первичные отстойники приходится поднимать. Поэтому в схемах с биофильтрами для осветления сточных вод

целесообразно предусматривать вертикальные или двухъярусные отстойники, либо осветлители-перегниватели.

При необходимости проектирования радиальных первичных отстойников в схеме с биофильтрами целесообразно произвести частичную срезку земли на площадке под биофильтрами, чтобы радиальные (первичные) отстойники своим дном опирались на естественный грунт. Вторичные отстойники в этом случае почти полностью заглублены.

Для обеспечения самотечного движения очищаемой воды по сооружениям необходимо, чтобы отметка поверхности жидкости в приемной камере очистных сооружений превышала отметку наивысшего горизонта воды в водоеме на величину всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям и коммуникациям с учетом запаса 1–1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения жидкости из оголовка выпуска в водоем.

Движение осадков по очистным сооружениям по возможности должно быть самотечным. Однако, как правило, подача циркулирующего активного ила в аэротенки из вторичных отстойников, а также избыточного активного ила в илоуплотнители, преаэраторы или биокоагуляторы требуют устройства иловой насосной станции. Подача осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила в метантенки чаще всего решается с помощью насосной станции. В схемах со стабилизаторами также используется перекачка осадков.

Профиль движения осадков (профиль «по илу») составляется на основе высотного расположения сооружений, определенного из профиля «по воде». Он начинается от выпуска сырого осадка из самого удаленного первичного отстойника или от выпуска активного ила или биопленки из самого дальнего вторичного отстойника и доводится до цехов механического обезвреживания, а затем до сооружений по обеззараживанию осадков. В реальных проектах вышеуказанные пути движения осадков строятся обязательно. В курсовых и дипломных проектах студент строит один профиль «по илу», согласовывая его с руководителем проектирования, выбирая наиболее протяженный путь движения обработки осадка.

Далее строится профиль дренажной линии до присоединения к внутриплощадочной канализации или до насосной станции для перекачки иловой воды.

При проектировании иловых площадок уплотнителей, иловых площадок на искусственном основании с дренажом и иловых площадок с отстаиванием и поверхностным водоотведением (каскадных) вычерчивается разрез по площадкам и показывается коллектор иловой воды до насосной станции.

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.** Рекомендации по организации водоотведения в сельской местности / В. Н. Ануфриев. – Минск, 2014 – 59 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 Водоотведение : учеб. / Ю. В. Воронов [и др.] – М. : Издательский дом АСВ, 2009. – 415 с.
- 6 Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З. с изм. и доп. – Минск, 2019. – 69 с.
- 7 **Воронов, Ю. В.** Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
- 8 **Гогина, Е. С.** Удаление биогенных элементов из сточных вод : [монография] / Е. С. Гогина. – М. : МГСУ, 2010. – 120 с.
- 9 **Гудков, А. Г.** Биологическая очистка городских сточных вод / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с.
- 10 **Гудков, А. Г.** Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – 152 с.
- 11 **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.
- 12 **Долина, Л.Ф.** Очистка сточных вод от биогенных элементов : [монография] / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2011. – 198 с.
- 13 **Жмур, Н. С.** Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
- 14 **Колесников, В. П.** Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях / В. П. Колесников, Е. В. Вильсон; под ред. академика ЖКХ РФ В. К. Гордеева-Гаврицова. – Ростов н/Д : Изд-во Ю., 2005. – 212 с.
- 15 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.
- 16 Постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь «О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» от 26.05.2017 № 16. – Минск, 2017. – 15 с.

17 Правила пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах: утв. пост. Совета Мин-ов Респ. Беларусь от 30 сентября 2016 г. № 788. – Минск, 2016. – 24 с.

18 **Седлухо, Ю. П.** Экспериментальные исследования очистки сточных вод от биогенных элементов: сб. докл. междунар. научн.-практ. конф. 15 декабря 2006 г. / Ю. П. Седлухо, Т. С. Куприянчик. – Кишинев, 2006. – 233 с.

19 **Татура, А. Е.** Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / А. Е. Татура. – Ижевск : ИЖГТУ, 2003. – 178 с.

20 Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации / Б. В. Васильев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 5. – С. 18 – 21.

21 Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Б. Г. Мишуков [и др.]. – СПб. : Вода: технология и экология, 2008. – 144 с.

22 ТКП 17.06.08–2012. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. – Введ. 29.06.2012. – Минск : Минприроды, 2012. – 73 с.

23 СН 4.01.01–2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 85 с.

24 СН 4.01.02–2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

25 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.

26 EPA Onsite Wastewater Treatment Systems Manual, 2004. – 367 с.

27 Anforderung an Einleitungen von hauslichem and kommunalem Abwasser sowie an Einleitungen aus Kanalisationen. Bayerisches Landesamt fur Umwelt. merkblatt Nr. 4. 4/22. Stand 01.10.2008.

28 Проектирование установок с фильтр-прессами для обезвоживания осадков сточных вод / ВНИИВОДГЕО.– М. : Стройиздат, 1990. – 56 с.

29 **Туровский, И. С.** Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И. С. Туровский. – М. : ДеЛипринт, 2008. – 375 с.

30 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.

31 СТБ 17.06.02-03–2015 Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений. – Минск : Госстандарт, 2015. – 33 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

**Основные параметры, принимаемые при проектировании
очистных сооружений**

*Таблица А.1 – Эффективность удаления загрязняющих веществ на сооружениях
очистки сточных вод*

Метод очистки сточных вод	Единица измерения	Эффект удаления примесей, Остаточная концентрация примесей					
		взвешенные вещества	БПК ₅	ХПК	NH ₄	N _{общ}	P _{общ}
Механическая очистка	%	45–64	20–33	20–33	9	11	11
	мг/л	–	–	–	–	–	–
Биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	%	–	–	–	40	27	33
	мг/л	20	15	70	–	–	–
Биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	%	–	–	–	–	27	33
	мг/л	20	15	70	5	–	–
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 %	%	–	–	–	–	70	33–35
	мг/л	20	15	70	5	–	–
То же, и биологическим удалением фосфора	%	–	–	–	–	70	75–78
	мг/л	20	15	70	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 сут	%	–	–	–	–	27–70	33–78
	мг/л	12	15	70	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой на микрофильтрах	%	–	–	–	–	27–70	33–78
	мг/л	10	12	65	5	–	–
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с одновременным реагентным осаждением	%	–	–	–	–	27–70	–
	мг/л	18	12	67	5	–	1–2
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с одновременным реагентным осаждением и последующим фильтрованием с флокуляцией	%	–	–	–	–	27–70	–
	мг/л	5	7	50	5	–	0,3–0,5

Таблица А.2 – Концентрации отдельных загрязняющих веществ в сточных водах, допустимые для биологической очистки, $C_{б.о.с}$ и эффективность их удаления на сооружениях аэробной биологической очистки

Загрязняющие вещества	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$, мг/дм ³	Достижимая эффективность удаления, %
Акролеин	0,01	–
Аллиловый спирт	3	65
Алюминий	5	50
Акриловая кислота	–	65
Анилин	0,1	80
Ацетальдегид	20	80
Ацетон	40	95
Барий	10	40
Бензойная кислота	15	80
Бутилакрилат	–	65
Бутилацетат	0,1	80
Бутиловый спирт нормальный	10	80
Бутиловый спирт вторичный	20	80
Бутиловый спирт третичный	20	80
Ванадий	2,0	65
Винилацетат	100	30
Висмут	15	65
Гидразин	0,1	–
Гидрохинон	15	30
Гликозин	30	35
Глицерин	90	–
Дибутилфталат	0,2	30
Диметилацетамид	15	80
Диметилфенил-карбинол	1,0	65
3,5-Диметилфенол (3,5-Ксиленол)	–	50
Динитрил адипиновой кислоты	–	30
Дициандиамид	100	30
Диэтаноламид	1,0	–
Диэтиламин	10	30
Железо общее	5	65
Жиры растительные и животные	50	60
Изобутиловый спирт	–	50
Изопропиловый спирт	–	65
Кадмий	0,1	50
Карбомол	–	60
Кобальт	1,0	40

Продолжение таблицы А.2

Загрязняющие вещества	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с}$, мг/дм ³	Достижимая эффективность удаления, %
2-Оксогексаметиленмин (капролактam, лактам эпсилон-аминокапроновой кислоты)	25	80
О-крезол	100	40
Кротоновый альдегид	6	–
Ксилол	1,0	50
Латексы	10	–
Лудигол	100	60
Малеиновая кислота	60	80
Марганец	30	–
Масляная кислота	500	85
Медь	0,5	65
Метазин	10	30
Метакриламид	–	30
Альфа-Метакриловая кислота	–	30
Метанол (Метиловый спирт)	30	95
Метилметакрилат	500	65
Метилстирол	1,0	50
Метилэтилкетон	50	65
Молибден	–	30
Молочная кислота	–	85
Моноэтаноламин	5	50
Моноэтиловый эфир этиленгликоля	–	65
Муравьиная кислота	–	85
Мышьяк	0,1	40
α -Нафтол (α -Гидроксинафталин)	–	65
L-нафтол	–	65
B-нафтол	–	65
Нефть и нефтепродукты в растворимом и эмульгированном состоянии	15	70
Никель	0,5	40
Нитробензол	–	70
Октанол (спирт октиловый)	–	50
Олово	10	–
Пирокатехин	–	80
Полиакриламид	40	–
Поливиниловый спирт	20	–

Окончание таблицы А.2

Загрязняющие вещества	Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, $C_{б.о.с.}$ мг/дм ³	Достижимая эффективность удаления, %
Пропиленгликоль	–	85
Пропиловый спирт	12	95
Резорцин	12	80
Ртуть	0,005	50
Свинец	0,1	40
Селен	10	40
Сероуглерод	5	–
Синтаמיד	–	60
СПАВ анионоактивные, в том числе алкилоксиэтилированные сульфаты, алкилсульфонаты, олефинсульфонаты, алкилбензосульффонаты алкилсульфаты, натриевые и калиевые соли-жирных кислот	20	65
Стирол (венилбензол)	10	50
Стронций	26	15
Сульфиды и сероводород	1	50
Сурьма	0,5	30
Тиомочевина	10	40
Титан	0,1	65
Толуол	15	50
Трикрезилфосфат	40	30
Триэтаноламин	5	40
Уксусная кислота	–	80
Фенол	15	80
Формальдегид	100	65
Фталевая кислота	0,5	60
Фторид-анион	–	15
Хром (Cr^{3+})	2,5	65
Хром (Cr^{6+})	0,1	50
Хромолан	10	20
Цианиды-анион	1,5	60
Цинк	1,0	60
Этиловый спирт	14	70
Эмукрил С	10	45
Этамон ДС	10	30
Этиленгликоль	1000	65
Этиленхлоргидрин	5	65

Таблица А.3 – Перечень загрязняющих веществ, не удаляемых в процессе аэробной биологической очистки

Анизол	Изопропиламин
Ацетофенон	Каптакс
Бутилбензол	Карбофос
Гексахлорбензол	Нитробензол
Гексоген	Нитрохлорбензол
Гексахлоран	Норсульфазол
Гексахлорбутадиен	Меланин
Гексахлорбутан	β -меркаптодиэтиламин
Гексахлорциклопентадиен	Метафос
Гексахлорэтан	Метилантрофос
Далапон	Парафенилдиамин
Диметилдиоксан	Пентаэритрит
Диметилдитиофосфат	Петролатум
Диэтиланилин	Пикриновая кислота (тринитрофенол)
Диэтиленгликоль	Пирогаллол (триоксибензол)
Диэтиленовый эфир малеиновой кислоты	Полихлорпилен
Диэтилртуть	Полиэтиленамин
Диметилдитиофосфорная кислота	Пропилбензол
Диметилдихлорвинилфосфат	Сульфаты (анион)
Диметилформамид	Тетрахлорбензол
Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ)	Тетрахлоргептан
Дихлоранилин	Тетрахлорметан
Дихлорбензол	Тетрахлорнонан
Дихлорбутан	Тетрахлорпентан
Дихлоргидрин	Тетрахлорпропан
Дихлорнафтохинон	Тетрахлорундекан
Дихлорпропионат натрия	Тетрахлорэтан
Дихлофос	Тетраэтилсвинец
Дихлорэтан	Тиофен
Диэтилдитиофосфорная кислота	Тиофос
Диэтиловый эфир малеиновой кислоты	Трибутилфосфат
Изопрен	Трихлорбензол
Триэтаноламин	Хлориды (анион)
Трифторхлорпропан	Хлор свободный
Триэтиламин	Хлорофос
Фазалон	Циклогексан
Фурфурол	Циклогексанол
Фосфамид	Циклогексаноноксим
Хлорбензол	Циклогексен
Хлоропрен	Этилбензол
Хлорциклогексан	

Таблица А.4 – Рекомендуемая нагрузка на иловые площадки

Характеристика осадка	Иловые площадки					
	на естественном основании	на естественном основании с дренажем	на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем	каскадные с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды на естественном основании	площадки-уплотнители	на естественном основании с вертикальным дренажем
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5
То же, в термофильных условиях	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0	1,8
Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3	3,0
Стабилизированная смесь активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5	2,5

Таблица А.5 – Дозы реагентов при вакуум-фильтрации

Тип осадка	Дозы реагентов, % к массе сухого вещества	
	FeCl ₃	CaO
Сброженный осадок из первичных отстойников	3–4	8–10
Сброженная промывная смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила	4–6	12–20
Сырой осадок первичных отстойников	1,5–3	6–10
Смесь осадка первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила	3–5	9–13
Уплотненный избыточный ил из аэротенков	6–9	17–25
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Большие значения доз реагентов следует принимать для осадка, сброженного при термофильном режиме.</p> <p>2 При обезвоживании аэробно стабилизированного осадка доза реагентов на 30 % менее дозы для мезофильно сброженной смеси.</p> <p>3 Доза Fe₂(SO₄)₃ во всех случаях увеличивается по сравнению с дозами хлорида железа (III) на 30–40 %.</p> <p>4 При обезвоживании осадка на камерных фильтр-прессах доза извести принимается во всех случаях на 30 % больше</p>		

Таблица А.6 – Производительность вакуум фильтров и фильтр-прессов

Характеристика обрабатываемого осадка	Производительность, кг сухого вещества осадка на 1 м ² поверхности фильтра в 1 ч		Влажность кека, %	
	вакуум-фильтров	фильтр-прессов	при вакуум-фильтрации	при фильтр-прессовании
Сброженный осадок из первичных отстойников	25–35	12–17	75–77	60–65
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила, аэробно стабилизированный активный ил	20–25	10–16	78–80	62–68
Сброженная в термофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	17–22	7–13	78–80	62–70
Сырой осадок из первичных отстойников	30–40	12–16	72–75	55–60
Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила	20–30	5–12	75–80	62–75
Уплотненный активный ил станций аэрации населенных пунктов	8–12	2–7	85–87	80–83

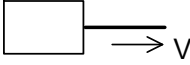
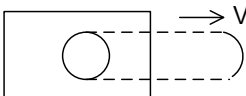

Таблица А.7 – Площадь помещений

Помещение	Производительность очистных сооружений, тыс. м ³ /сут				
	1,4–10	11–50	51–100	101–250	свыше 250
Физико-химическая лаборатория по контролю: сточных вод осадков сточных вод	25 –	25 –	25 15	40 (две комнаты по 20) 15	50 (две комнаты по 25) 20
Бактериологическая лаборатория	–	20	22	33 (две комнаты по 18 и 15)	35 (две комнаты по 20 и 15)
Моечная и автоклавная	–	6	8	10	12
Помещения для хранения посуды и реактивов	6	6	12	15	20
Кабинет заведующего лабораторией	–	10	12	15	20
Помещения для пробоотборников	–	–	6	–	8

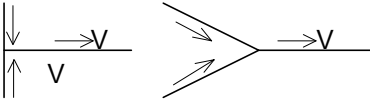
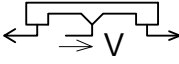
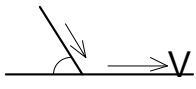
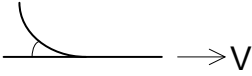
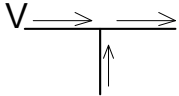
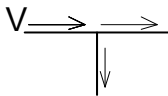
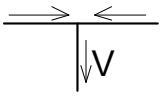

Таблица А8 – Минимальные скорости

Характеристика воды	Минимальная скорость, м/с
Сточная вода до песколовок	0,9
После песколовок до первичных отстойников	0,75
После первичных отстойников	0,6
После биологической очистки до вторичных отстойников	0,75
После вторичных отстойников	0,5–0,4
На выпуске	0,4

Таблица А.9 – Значения коэффициентов местных сопротивлений

Наименование	Эскиз	ξ при скорости v , м/с
Вход из емкости в прямоугольный канал		0,5
Вход из канала в трубу		0,56
Разделение потока		1,5 (под углом 90°), 0,6 (плавное)

Окончание таблицы А.9

Наименование	Эскиз	ξ при скорости v , м/с
Слияние потока		3,0 (под углом 90°), 1,2 (плавное)
Распределительная чаша		3,0
Поворот		1,5(под углом 90°), 0,75 (угол 60°), 0,60 (угол 45°), 0,40 (угол 30°)
Поворот плавный		0,3 (угол 90°), 0,08 (угол 45°), 0,05 (угол 30°)
Тройник на протоке		0,1
Тройник на повороте		0,16
Тройник на слиянии		1,5
Вход из канала в емкость или из выпуска в водоем		1,0

Учебное издание

НОВИКОВА Ольга Константиновна

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

Редактор *Т. М. Маруняк*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л 12,09. Уч.-изд. л. 12,63 . Тираж 150 экз.
Зак. № . Изд. № 6.

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