

ГЛАВА 4. СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.

4.1. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА АЭРОТЕНКАХ.

4.1.1. Биохимические основы методов биологической очистки сточных вод методами аэрации.

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают целым рядом особых свойств, из которых следует выделить три основных, широко используемых для целей очистки:

1. Способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования.

2. Во-вторых, это свойство быстро размножаться. В среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин. По утверждению проф. Н.П. Елинова, если бы микроорганизмы могли беспрепятственно размножаться, то при наличии достаточного питания и соответствующих условий за 5 – 7 дней масса только одного вида микроорганизмов заполнила бы бассейны всех морей и океанов. Этого, однако, не происходит как из-за ограниченности источников питания, так и благодаря сложившемуся природному экологическому равновесию.

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

В живой микробной клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса – распад молекул (катаболизм) и их синтез (анаболизм), составляющие в целом процесс обмена веществ – метаболизм. Иными словами, 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 микробной клеткой в результате потребления питательных веществ.

Источником питания для гетеротрофных микроорганизмов являются, содержащиеся в сточных водах, углеводы, жиры, белки, спирты и т.д., которые могут расщепляться в аэробных условиях (либо в анаэробных). Некоторые промежуточные продукты служат питательным резервом, который клетка использует после истощения основного питания. Весь цикл взаимоотношений клетки с окружающей средой в процессе изъятия из нее и трансформации питательных веществ определяется и регулируется соответствующими ферментами. Механизм изъятия из сточных вод органических веществ носит весьма сложный и многоступенчатый характер взаимосвязанных и последовательных биохимических реакций.

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших со сложными отношениями между ними на уровне ферментативных реакций. В аэротенках микробная масса пребывает во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев, которые представляют собой зооглейные скопления микроорганизмов, простейших и более высокоорганизованных представителей фауны (коловратки, черви, личинки насекомых, а также водных грибов и дрожжей).

Биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название *активного ила*. Основная роль в нём 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* - скопление микроорганизмов, в которых клетки окутаны «*паутиной*» растворимых или слабонерастворимых внеклеточных полимерных образований.

С инженерной точки зрения определяющим для технологического и конструктивного оформления процесса биологической очистки является скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды в процессе биохимических реакций.. Среди основных закономерностей развития колоний микроорганизмов можно выделить следующие фазы:

- лаг-фазу, или фазу адаптации, которая наблюдается сразу после введения микробной культуры в контакт с питательной средой и в которой практически не происходит прироста биомассы;

- фазу экспоненциального роста (фазу ускоренного роста) микроорганизмов, в которой избыток питательных веществ и отсутствие (или весьма незначительное присутствие) продуктов обмена веществ способствуют поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток;

- фазу замедленного роста, в которой скорость роста биомассы начинает все более сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма в культуральной среде;

- фазу нулевого роста (или прекращения роста), в которой наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, которое свидетельствует о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой;

- фазу эндогенного дыхания (или фазу самоокисления), в которой из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

Из рис. 4.1 видно, что отмеченным фазам роста микробной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через БПК. Это позволяет сделать следующие выводы:

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

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

- при уменьшении содержания органических веществ в очищаемой жидкости 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).

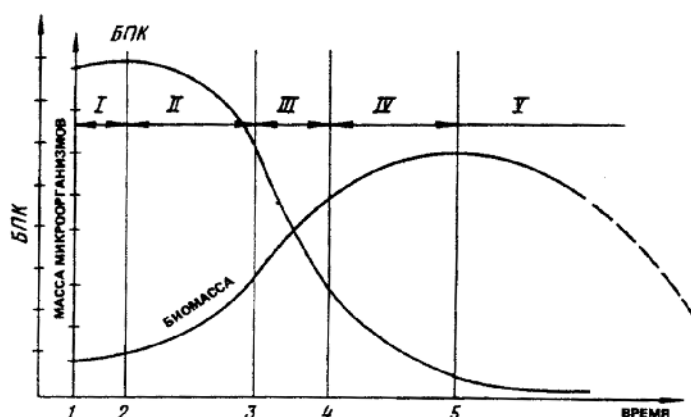


Рис. 4.1. Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ.

Важнейшей характеристикой биологического окисления в аэротенках является «нагрузки загрязнений на ил». Под ней понимается количество поступающих со сточной водой загрязнений, в мг или г загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

«Доза активного ила» a_i - концентрация его в аэротенке, которая выражается в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м³ иловой смеси. Нагрузка на активный ил по БПК, можно представить в виде зависимости:

$$q_i = L_{en} / a_i (1 - s) t_{at} \quad (4.1)$$

где L_{en} – БПК поступающей в аэрационное сооружение сточной жидкости, мг/л или г/м³; s – зольность ила, доли единицы; a_i – доза ила, выражаемая в г/л, если БПК выражена в мг/л или в г/м³; t_{at} – длительность пребывания жидкости в аэрационном сооружении.

При полной биологической очистке БПК_{полн}, после отделения активного ила, составляет 12-20 мг/л. Разница между поступающей в аэротенк БПК_{полн} и выходящей из него называется снятой БПК_{полн}. Отношение снятой БПК_{полн} к массе ила и длительности аэрации представляет удельную скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды, т.е. скоростью очистки в определяется в мг или г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч

$$\rho_i = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) t_{at} \quad (4.2)$$

Удельная скорость изъятия загрязнений устанавливается экспериментальным путем. Если органическая нагрузка превышает 0,5 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества, то аэротенк считается высоконагруженным, при, если нагрузках q_i находится в пределах 0,15 – 0,5 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки – средненагруженным, а при q_i в пределах ~ 0,065 – 0,15 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки низконагруженным. При нагрузках менее ~ 0,065 г БПК на 1 г беззольного вещества ила имеет место так называемая «продленная аэрация», при которой происходит самоокисление определенного количества активного ила.

Разделение активного ила от очищенной сточной воды осуществляется в основном гравитационным путем, т.е. отстаиванием, при этом активный ил осаждается на дно отстойного сооружения и несколько уплотняется, после чего может быть возвращен в аэрационное сооружение. Степень осаждаемости активного ила определяется понятием «иловый индекс». Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60-90 до 120-150 мл/г. Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по загрязнениям (помимо прочих факторов) приводят к резкому увеличению илового индекса, названному «вспуханием» ила и повышенному выносу его с очищенной сточной водой. Дозы активного ила в аэрационных сооружениях может колебаться в пределах 3 - 5 г/л – при продленной аэрации; 3 - 4 г/л – при низких нагрузках на ил; 2,5 - 3,5 г/л - при средних и 2 - 3 г/л – при высоких нагрузках.

Для оценки работы аэрационных сооружений имеет важное значение окислительная мощность. Математическое выражение этой величины представляет собой произведение дозы ила (в пересчете на беззольное вещество) на скорость очистки, т.е.

$$OC_{at} = 24a_i (1 - S)\rho_i, \quad (4.3)$$

где ρ_i – БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества в 1 ч.

В зависимости от технологического режима его работы окислительная мощность аэротенков может составлять от 0,3 кг БПК_{полн} до 2-3 кг БПК_{полн} на 1 м³ сооружения. Важной характеристикой активности ила является возраст ила, под которым понимается средняя продолжительность его пребывания в сооружениях биологической очистки.

В аэротенке поддерживается определенная для данных условий концентрация ила, поэтому прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. Эту массу ила, т.е. прирост ила, называют *избыточным активным илом*. Масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэротенки получила название *циркуляционного активного ила*. Возраст ила, сут, определяется из следующей формулы:

$$B_u = [(V_{aэр} + V_{кан}) a_i + V_{от.з} a_i'] / \Pi_p \cdot Q, \quad (4.4)$$

где $V_{aэр}$, $V_{кан}$, $V_{от.з}$ – объемы соответственно аэротенков, каналов, отстойных зон сооружений илоотделения (вторичных отстойников), м³; a_i – средняя концентрация активного ила в иловой смеси в аэротенках и каналах, г/л (кг/м³); a_i' – средняя концентрация активного ила в отстойной зоне сооружений илоотделения, г/л (кг/м³); Q – расход очищаемой воды, м³/сут; Π_p – прирост активного ила, г/л(кг/м³). Опыт эксплуатации аэрационных сооружений показывает, что оптимальная активность ила обеспечивается при его возрасте в 2÷5 суток.

Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается на основе лабораторных анализов по следующим показателям: по БПК_{полн} (ХПК) в неочищенной сточной воде, приросту ила, БПК_{полн} очищенной воды, азоту аммонийному, нитритам, нитратам, соединениям фосфора, взвешенным веществам (после отделения ила), по дозе ила, концентрации рас-

творенного кислорода, температуры, pH и др. или какого-либо другого конкретного загрязнения. Работа аэрационных сооружений оценивается также такими энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например, кВт·ч на 1 кг БПК_{полн} (или ХПК); 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.

4.1.2. Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках.

Функционирование аэротенков обеспечивается тем, что после отделения от очищенной воды в сооружениях во вторичных отстойниках (илоотделителях), в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Активный ил в проточных условиях постоянно циркулирует между аэротенками и сооружениями вторичными отстойниками (илоотделителями). Избыточный активный ил, удаляется из системы аэротенк – илоотделитель на обработку и ликвидацию.

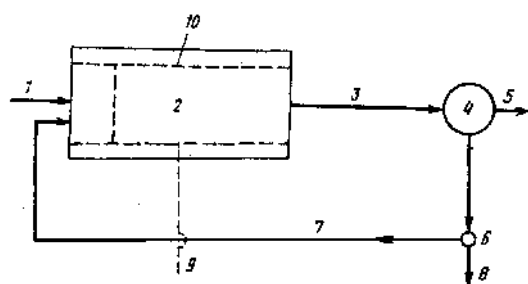


Рис. 4.2. Классическая схема биологической очистки сточных вод:

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 воздухоулов; 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке.

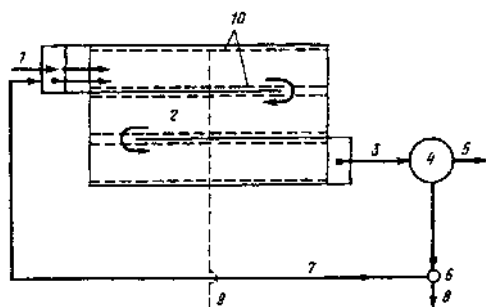


Рис. 4.2. Аэротенк-вытеснитель (см. позиции на рис. 4.2).

Классическая схема очистки сточных вод в аэротенках 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 (рис. 4.2).

По этой 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 активного ила образуется иловая смесь. В процессе её 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 - 9 м, по которым иловая смесь протекает от входа в аэротенк к выходу из него при постоянном перемешивании и обеспечении кислородом воздуха.

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

Аэротенки по технологической схеме

работы разделяются:

1) по гидравлическому режиму движения иловой смеси вдоль сооружения на аэротенки-вытеснители, где более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей,

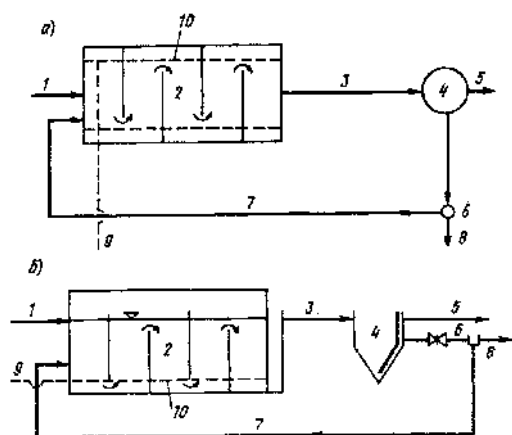


Рис. 4.3. Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками (см. позиции на рис. 12.2): а – не достигающими до противоположной стены; **б** – поочередно не достигающими до дна и до уровня воды в аэротенке.

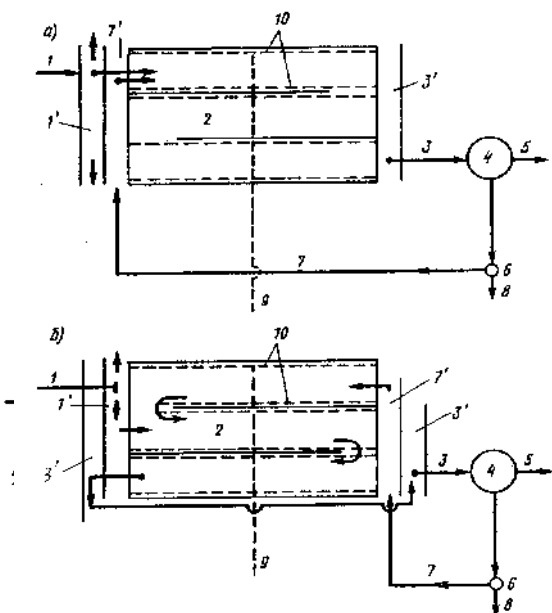


Рис. 4.4. Аэротенк-вытеснитель без регенерации (а) и с регенерацией (33 %) – (б): 1' – канал сточной воды на биологическую очистку; **3'** – канал иловой смеси; **7'** – канал циркуляционного активного ила (см. позиции на рис. 4.28).

благодаря чему такие аэротенки получили название аэротенков-вытеснителей (рис. 4.29);

2) аэротенки продольного секционирования с поперечными перегородками, не достигающими то до дна, то до уровня воды не достигающими либо до дна (или чередующимися), либо до противоположной стены, которые являются модификацией классической схемы (рис. 4.30).

3) Аэротенки с регенераторами активного ила, которые применяются в технологической схеме, если концентрации БПК_{полн} в поступающей сточной воде превышает 150 мг/л.

При увеличении концентрации органических загрязнений изъятие из сточной воды растворенных или взвешенных загрязнений активным илом происходит значительно быстрее, чем их окисление. Поэтому представляется целесообразной организация раздельного протекания этих двух стадий процесса в условиях, в которых происходит предварительная обработка активного ила без подачи сточной воды. После этого регенерированный активный ил смешивается с поступающей на аэротенки сточной водой, что обеспечивает повышение эффективности работы аэротенков в целом.

В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться в виде как отдельно стоящих сооружений, так и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков (рис. 4.4а и 4.4б).

В зависимости от характера загрязнений сточных вод и условий реализации процесса примерно для изъятия загрязнений из очищенной воды достаточно 1,5 – 2,5 ч аэрации. Концентрация растворенного в жидкости кислорода поддерживается в пределах 0,5 – 2,0 мг/л. Скорость же потребления кислорода здесь значительно более высокая, чем в регенераторе, поэтому интенсивность аэрации здесь должна быть также существенно выше, чем в регенераторах. Однако длительность пребывания ила в регенераторе значительно

больше длительности аэрации в аэротенке. Суммарная длительность же изъятия и окисления загрязнений остается той же, что и при реализации процесса по классической схеме.

Концентрация ила в регенераторе в 2-2,5 раза выше, чем в аэротенке, так как активный ил в него направляется прямо из вторичных отстойников без подачи сюда сточной жидкости, что позволяет на 15-20% уменьшить суммарный объем аэрационных сооружений.

Объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема собственно аэротенков

и регенераторов, получил название "*процента регенерации*". Например, для трёхкоридорного аэротенка, необходимый объем регенераторов составляет 30% от суммарного объема, обеспечить этот объем можно, выделив 1 коридор под регенератор (строго говоря, это составит 33% регенерации).

Типовые аэротенки разработаны в виде 2-, 3-, 4-коридорных, соответственно в них можно обеспечить 25, 33, 50, 66, 75% регенерации, выделяя от 1 до 3 коридоров под регенерацию. В принципе, можно обеспечить любой процент регенерации, выделяя под регенераторы соответствующий объем аэротенков.

4) Аэротенки-смесители, обеспечивают относительное постоянство условий, в кото-

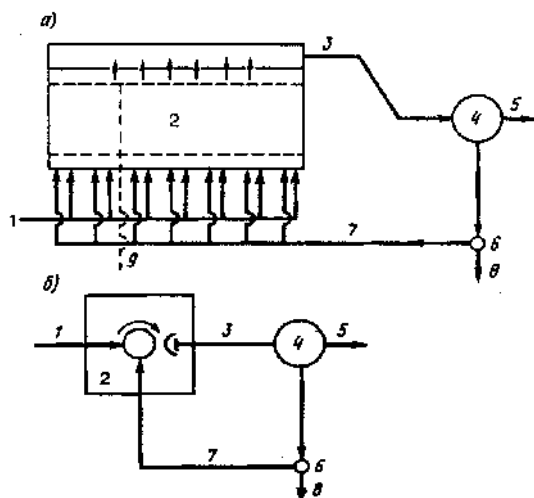


Рис. 4.5. Аэротенк-смеситель (см. позиции на рис. 12.2): а – с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения; б – с центральным подводом воды и ила в аэрационную зону

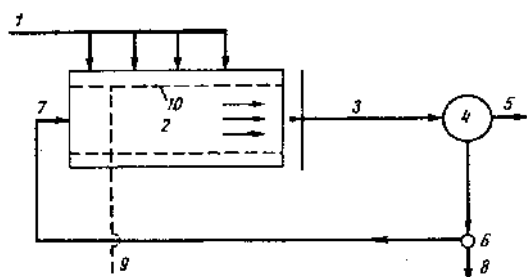


Рис. 4.6. Аэротенк с рассредоточенным выпуском воды на очистку (см. позиции на рис. 4.2)

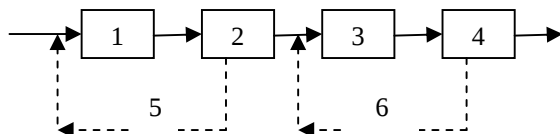


Рис. 4.7. Схема работы двухступенчатых аэротенков: 1 – аэротенк первой ступени; 2 – вторичный отстойник; 3 – аэротенк второй ступени; 4 – третичный отстойник

В ряде случаев, особенно при наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко разняющимися скоростями их биохимического окисления, прибегают к устройству двух, а иногда и трех ступеней биологической очистки, и очищаемая вода проходит последовательно через каждую из них. 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 (рис. 4.7). Практически всегда в качестве

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 счёт того, в аэротенках-смесителях порция сточной жидкости, поступающая в сооружение, быстро распределяется в большем объеме аэротенка, в результате этого все зоны аэротенка будут содержать одинаковую смесь загрязнений, подвергшихся различной степени воздействия активного ила (рис. 4.5, а, б).

5. Аэротенки с рассредоточенной подачей воды являются сооружениями, занимающими промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями (рис. 4.6).

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 расстоянии от выхода из аэротенка.

Аэротенки могут быть проточного и контактного режимов действия; с пневматической или механической (или смешанной) системой аэрации и др.

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. Использование процессов самоокисления активного ила на 50-70 % позволяет осуществлять обработку активного ила, которую называют аэробной минерализацией, или аэробной стабилизацией ила. Время обработки активного ила при этом составляет 7-12 сут.

При определенной длительности пребывания активного ила в системе биологической очистки в нём развиваются нитрифицирующие микроорганизмы, переводящие аммонийный азот NH_3 сначала в нитриты NO_2 , а затем в нитраты NO_3 , который получил название *нитрификации*. При прекращении подачи кислорода (воздуха) в иловую смесь нитраты под воздействием микроорганизмов активного ила будут преобразованы в газообразный азот, который в атмосферу. Такой прием получил название *денитрификации*, а соответствующие сооружения – *денитрификаторов*.

4.1.3. Конструкции аэротенков.

Конструктивное оформление аэротенков определяется пропускной способностью очистных сооружений, исходными характеристиками подлежащей очистке сточной воды, определяющими режим работы аэротенков, типом аэрационного оборудования для подачи воздуха и перемешивания, конструкцией других сооружений, включаемых в технологическую схему очистки сточной воды и др. При конструировании решаются вопросы оптимального расположения и обеспечение минимальной длины коммуникаций, подводящих к аэротенкам сточную воду на очистку, циркуляционный активный ил, воздух, коммуникаций, отводящих иловую смесь из аэротенков в сооружения илоотделения, и избыточного активного ила на обработку.

Для крупных очистных сооружений применяются, главным образом, прямоугольные в плане аэротенки с пневматической аэрацией. Для сравнительно небольших очистных сооружений применяются как прямоугольные, так и круглые в плане аэротенки с пневматической, механической или пневмомеханической аэрацией. Одной из существенных характеристик аэротенков является их связь с сооружениями последующего разделения иловой смеси. С этой точки зрения различают аэротенки с отдельными отстойными сооружениями и аэротенки-отстойники, в которых эти два сооружения определенным образом гидравлически взаимосвязаны.

Аэротенки с отдельными сооружениями илоотделения характеризуются тем, что иловая смесь из них выводится и направляется в отстойные сооружения, из которых возврат циркуляционного активного ила осуществляется принудительно либо насосными установками, либо эрлифтами.

Аэротенки широко применяемые для крупных, средних и небольших очистных сооружений представляют собой прямоугольный в плане резервуар, разделенные на два-четыре коридора продольными перегородками, которые обеспечивают последовательное протекание по ним иловой смеси. Такое коридорное устройство позволяет типизировать перечные размеры аэротенков и с высокой степенью гибкости вводить при необходимости регенерацию: от 25% до 75% (в зависимости от числа коридоров в каждой секции аэротенков) (см. рис. 4.4). Коридорное устройство аэротенков позволяет легко решать вопросы подвода очищаемой жидкости и ила в аэротенк и отвода из него иловой смеси независимо от технологической схемы работы аэротенка. Ширина коридора может составлять 4,5 – 9 м и более, при глубине его до 6 м. Длина аэротенков в зависимости от пропускной способности очистных сооружений может изменяться от нескольких десятков до сотен метров.

На рис. 4.8 показан типовой 4-коридорный аэротенк, конструкция которого разработана ОАО ЦНИИЭП Инженерного оборудования. Длина коридора аэротенка 84 м, а ширина может составлять 4,5; 6 и 9 м. При ширине коридора 4,5 м рабочая глубина аэротенка составляет 3,2 либо 4,4 м, а при ширине 6 и 9 м – 4,4 либо 5 м. Такой аэротенк работает по принципу аэротенка-вытеснителя как с регенерацией ила, так и без регенерации. Четырех-

коридорные аэротенки позволяют отводить под регенераторы от 1 до 3 коридоров, т.е. аэротенки могут работать с 25%-ной, 50%-ной, 75%-ной регенерацией.

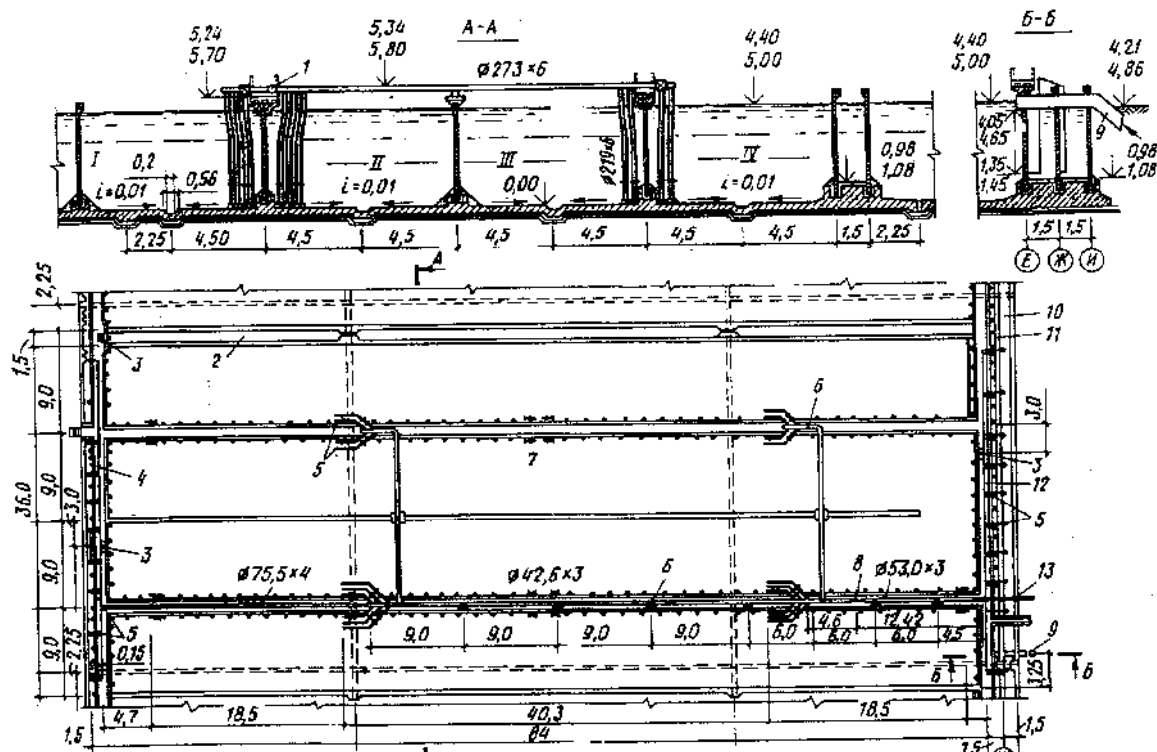


Рис. 4.8. Типовой четырёхкоридорный аэротенк (диаметры указаны в мм):

1 – воздуховод; 2 – средний канал; 3 – щитовой затвор; 4 – верхний канал осветленной воды; 5 – воздушные стояки; 6 – скользящая опора; 7 – водовыбросные стояки; 8 – трубы Вентури; 9 – трубопровод циркуляционного активного ила (от распределительной камеры); 10 – распределительный канал вторичных отстойников; 11 – нижний канал осветленной воды; 12 – воздуховод на канале; 13 – воздуховод секции.

Для аэрации иловой смеси воздух от воздуходувок по системе воздухопроводов через воздушные стояки подаётся в диспергаторы воздуха (аэраторы), располагаемые у дна аэротенка. Для предотвращения осаждения взвешенных веществ в каналах распределения воды или сбора иловой смеси также устанавливаются аэраторы. Воздух в данной конструкции аэротенков подаётся через фильтровые пластины, уложенные в бетонных каналах, которые устраивают в днище (или на днище) аэротенка вдоль продольной стенки его коридора.

Для удаления воды из-под фильтровых каналов, куда она может попадать служат водовыбросные стояки диаметром 60 мм, на которых открываются задвижки за несколько минут до включения подачи воздуха в каналы.

Если отстойные сооружения имеют прямоугольную в плане форму (горизонтальные отстойники), то может устраиваться единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками (рис. 4.9), что позволяет до минимума свести длину связывающих эти сооружения коммуникаций. На рис. 4.10 показан аэротенк-смеситель, разработанный Гипрокоммунводоканалом. Аэротенк включает два коридора, один из которых является собственно аэротенком, а другой – регенератором активного ила.

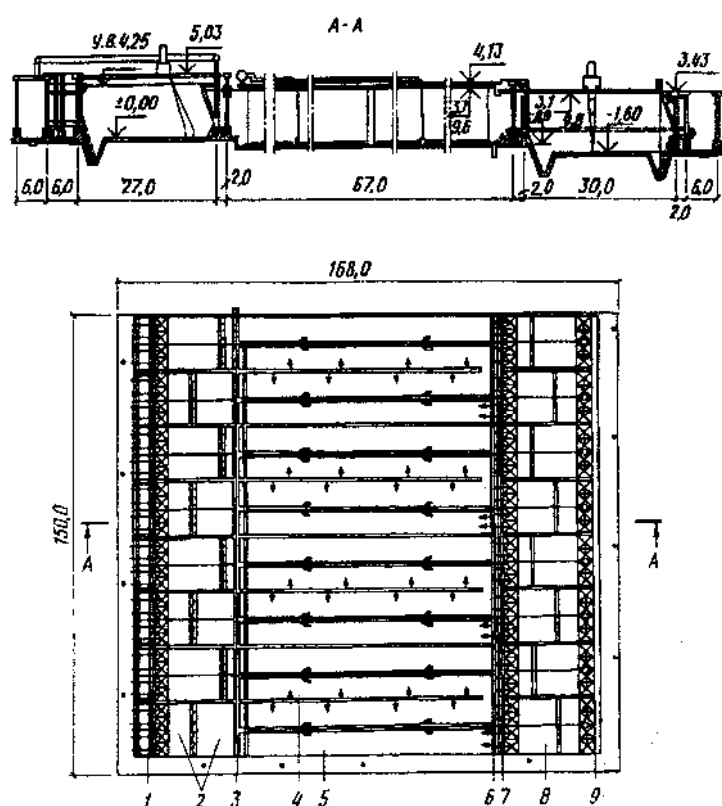


Рис. 4.9. Единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками: 1 – преаэратор; 2 – первичные отстойники; 3 – распределительный канал аэротенков; 4 – распределительный лоток аэротенков; 5 – аэротенк; 6 – лоток активного ила; 7 – распределительный канал вторичных отстойников; 8 – вторичный отстойник; 9 – контактный канал.

Регенератор отделен от аэротенка легкой стенкой из волнистого шифера. Длина коридора аэротенка 135, ширина 9, рабочая глубина 5 м. Сточная вода подается в коридор собственно аэротенка рассредоточенно через отверстия, расположенные на расстоянии 40 м одно от другого, в середине каждого коридора устроены лотки с продольным уклоном в 0,001 в сторону трубопровода опорожнения аэротенков.

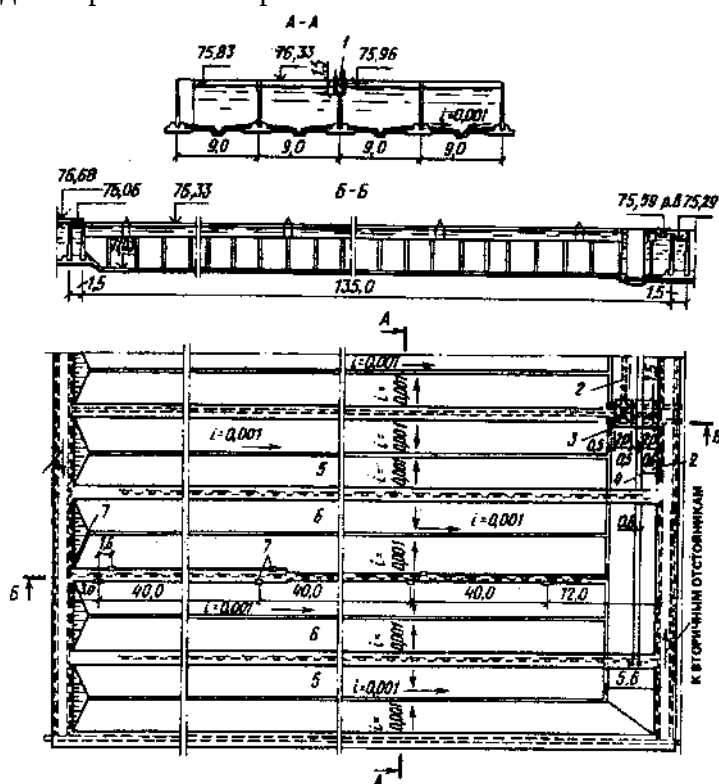


Рис. 4.10. Аэротенк-смеситель: 1 – распределительный лоток; 2 – трубопровод опорожнения аэротенков и вторичных

отстойников; 3 – камера задвижек опорожнения; 4 – лоток активного ила; 5 – регенераторы; 6 – аэротенки; 7 – щитовые затворы

Устройство аэротенков с механической аэрацией практически ничем не отличается от устройства аэротенков с пневматической аэрацией, в силу специфики механических аэраторов, имеющих квадратную или круглую в плане зону действия, при их применении стремятся увеличить ширину аэротенка (или коридора) до пяти-шести диаметров аэратора.

Характерной чертой **аэротенков-отстойников** является конструктивное совмещение аэрационного резервуара и вторичного отстойника в одном сооружении. Часть сооружения, в которой осуществляется аэрация иловой смеси, получила название аэрационной зоны, а другая – отстойной зоны. Зоны связаны между собой отверстиями, окнами, щелями и пр., которые обеспечивают переток иловой смеси из аэрационной зоны в отстойную и возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную без применения оборудования для принудительного возврата ила в зону аэрации. Примером такого сооружения может служить широко применяющаяся во Франции конструкция «Оксиконтант», разработанная французской фирмой "Дегремон" (рис. 4.11).

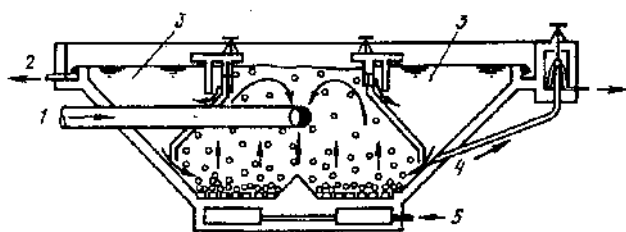


Рис. 4.11. Оксиконтант: 1 – впуск сточной воды; 2 – отвод очищенной воды; 3 – зона отстаивания; 4 – удаление (сброс) активного ила; 5 – воздух

Сточная вода после первичных отстойников подается в распределительный трубопровод, находящейся в центре прямоугольного в плане резервуара. С обеих сторон аэрационной зоны расположены отстойные зоны (рис. 4.11), отделенные от нее внутренними наклонными перегородками. Перегородки имеют в их верхней части регулируемые переливные окна, через которые иловая смесь поступает в отстойную зону, а в низу, перегородки прижимаются к наклонной внешней стенке

аэротенка, образуя продольную щель. Через эти щели осаждающийся в отстойной зоне активный ил под воздействием гравитационных сил возвращается в зону аэрации. После отделения ила вода собирается лотками, расположенными вдоль внешней стороны каждой отстойной зоны. Избыточный активный ил отводится из осадочной части отстойной зоны через илоотводные трубопроводы. 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.

Для станций небольшой пропускной способности довольно широко применяются аэротенки-отстойники круглой в плане формы с концентрическими зонами аэрации и отстаивания. На рис.4.12 представлена конструкция, в которой сточная вода подается в центр зо-

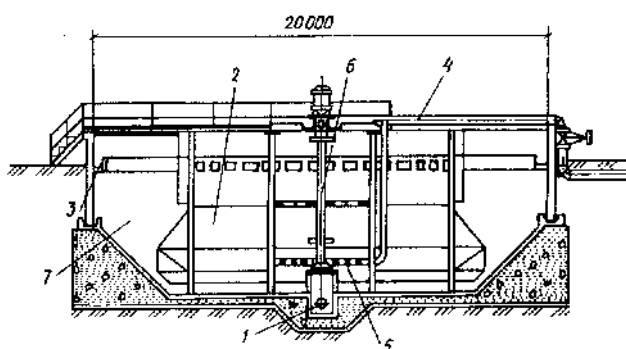


Рис. 4.12. Аэротенк-отстойник радиальный: 1 – трубопровод для подачи сточных вод; 2 – зона аэрации; 3 – лоток осветленной воды; 4 – воздуховод; 5 – кольцевой перфорированный аэратор; 6 – диспергатор-мешалка; 7 – зона отстаивания.

ны аэрации, где имеет место наиболее высокая степень турбулизации жидкости под действием пневмомеханического аэратора или пневматического аэратора.

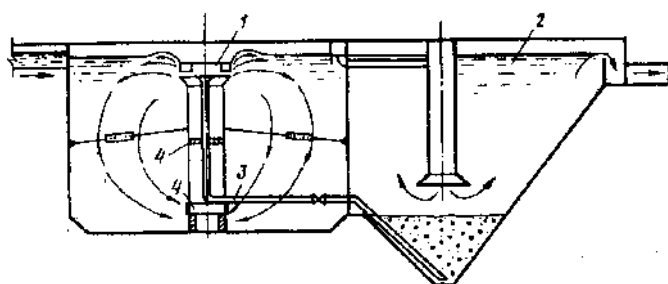


Рис. 4.13. Схема использования механического поверхностного аэратора дискового типа со стабилизатором потока для подачи ила из отстойной в аэрационную зону: 1 – зона аэрации; 2 – отстойник; 3 – трубопровод для подсасывания ила; 4 – окна для впуска жидкости

У некоторых типов аэротенков-отстойников возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную, осуществляется принудительно. К аэротенкам-отстойникам промежуточного типа относится установка, разработанная кафедрой водоотведения МГСУ (рис. 4.13).

Возврат активного ила из зоны отстаивания осуществляется под действием гидростатического напора, развиваемого механическим поверхностным аэратором дискового типа, устанавливаемым в центре квадратной (или прямоугольной) в плане формы зоны аэрации.

Для малых очистных станций разработаны компактные установки, включающие полный набор сооружений для очистки сточной воды и минерализации избыточного активного ила, в которых используются названные выше принципы компоновки аэрационной и отстойной зон и которые предназначены для обработки сточных вод объемом от нескольких кубометров до нескольких сот кубометров в сутки.

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) представляют собой замкнутый канал трапецеидального или прямоугольного сечения, в плане овальный формы, по которому циркулирует иловая смесь со скоростью 0,25 – 0,3 м/с. Такая скорость предотвращает осаждение активного ила и обеспечивается горизонтальными цилиндрическими аэраторами, устанавливаемыми поперек канала (рис. 4.14).

ЦОК работает по принципу аэротенков продленной аэрации, как правило, без первичного отстаивания.

Средняя продолжительность пребывания ила в нем составляет около 40 сут, что позволяет обеспечить значительную его минерализацию. В зависимости от расхода очищаемой жидкости применяются как схемы без вторичного отстаивания (рис. 4.14, а), так и схемы с вторичным отстаиванием (рис. 4.14, б).

Окситенки. В окситенках для обеспечения аэробных условий в сооружениях биоло-

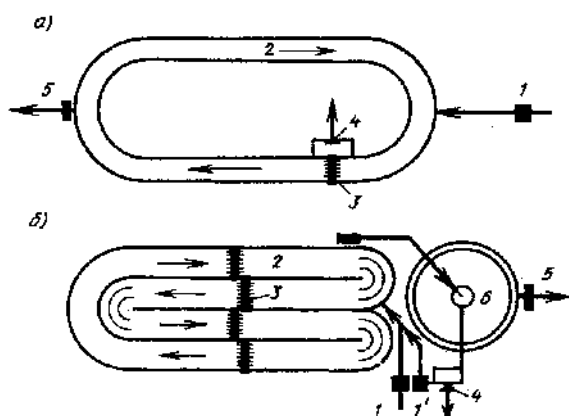


Рис. 4.14. Окислительный канал без вторичного отстойника (а) и с вторичным отстойником (б): 1 – насосная станция; 1' – то же, возврата ила в ЦОК; 2 – ЦОК; 3 – горизонтальный аэратор; 4 – удаление избыточного активного ила; 5 – отведение очищенной воды; 6 – вторичный отстойник

гической очистки применяется технический кислород или воздух, обогащенный кислородом. Это позволяет поддерживать высокую концентрацию растворенного кислорода в 5-10 мг/л, вместо обычно принятой для аэротенков концентрации в 1,5-2 мг/л, что существенно повышает окислительную способность сооружения и его устойчивость при шоковых и резко изменяющихся нагрузках на активный ил.

В отечественной практике очистки сточных вод с применением кислорода применяются окситенки, предложенные НТЦ РФ НИИВОДГЕО (рис. 4.15). Конструктивно окситенк выполнен в виде резервуара круглой в плане формы с цилиндрической перегородкой, разделяющей его на зону аэрации в центре и илоотделитель по периферии сооружения.

В средней части по высоте цилиндрической перегородки устроены окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части перегородки – окна для возвращения ила в зону аэрации. Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием.

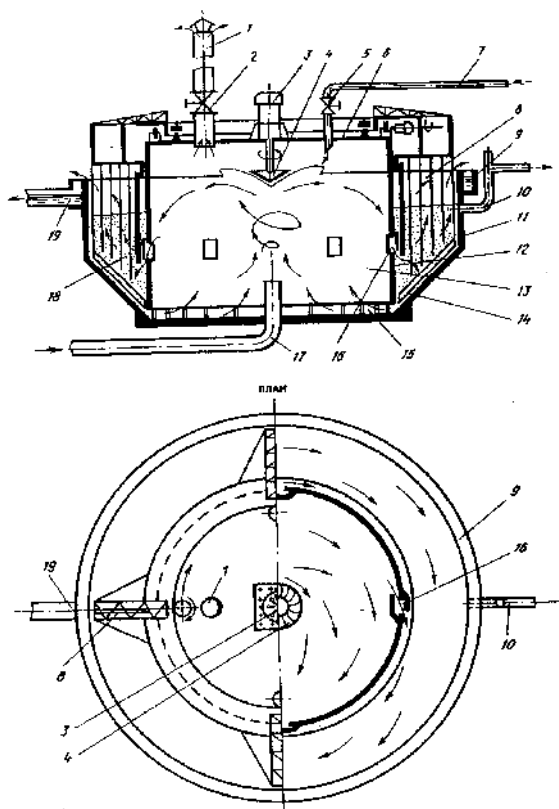


Рис. 4.15. Окситенк:

1 – продувочный трубопровод; 2 и 5 – задвижки с электрическим приводом; 3 – электродвигатель; 4 – турбоаэратор; 6 – герметическое перекрытие; 7 – трубопровод подачи кислорода; 8 – вертикальные стержни; 9 – сборный лоток; 10 – труба для сброса избыточного ила; 11 – круглый резервуар; 12 – цилиндрическая перегородка; 13 – зона аэрации; 14 – скребок; 15 – окна для поступления возвратного ила в зону аэрации; 16 – окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; 17 – труба для подачи сточной воды в зону аэрации; 18 – илоотделитель; 19 – труба для отвода очищенной воды

Илоотделитель оборудован перемешивающим устройством. В нижней части решеток размещается шарнирно подвешенный скребок. Илоотделитель работает с взвешенным слоем активного ила, уровень которого стабилизируется автоматически путем сброса избыточного ила через трубу. Сточная вода поступает в зону аэрации по трубе, где турбоаэратором аэрируется и интенсивно перемешивается с активным илом. Из зоны аэрации через окна и зону дегазации иловая смесь поступает в илоотделитель. Благодаря направляющим щиткам жидкость в илоотделителе медленно движется по окружности, вследствие чего значительно интенсифицируется процесс отделения и уплотнения ила. Очищенная вода проходит сквозь слой взвешенного активного ила, доочищается от взвешенных и растворенных органических веществ, поступает в сборный лоток и отводится по трубе. Возвратный активный ил спирально опускается вниз и через окна направляется в зону аэрации.

Высокая концентрация растворенного кислорода в окситенке позволяет значительно повысить дозу активного ила в сооружении и интенсифицировать процессы нитрификации аммонийного азота. Это дает возможность повышения окислительной мощности 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.

Расчёт окситенков осуществляется по тем же формулам, что и расчет аэротенков-смесителей, но с рабочей дозой ила в пределах 6-10 г/л и концентрацией растворенного кислорода 6-12 мг/л.

4.1.4. Системы аэрации иловых смесей в аэротенках.

Выше отмечалось, что применительно к аэротенкам различают системы аэрации: 1) пневматическую; 2) механическую; 3) смешанную, или комбинированную.

Пневматическая аэрация. В зависимости от типа применяемых аэраторов различают мелко-, средне- и крупнопузырчатую аэрацию. При мелкопузырчатой аэрации крупность пузырьков воздуха составляет 1-4 мм, при среднепузырчатой - 5-10 мм, при крупнопузырчатой - более 10 мм. К мелкопузырчатым аэраторам относятся керамические, тканевые и пластиковые аэраторы, а также аэраторы форсуночного и ударного типов; к среднепузырчатым – перфорированные трубы, щелевые аэраторы и др.; к крупнопузырчатым – открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла.

В России наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора являлась фильтросная пластина размером 300×300 мм или фильтросные трубы диаметром 300 мм, изготавливаемые из шамота, который связан смесью жидкого стекла с мелкой шамотной пылью, или из кварцевого песка и кокса, которые связаны бакелитовой смолой.

Фильтросные пластины заделываются цементным раствором в железобетонные каналы, устраиваемые в днище аэротенка у стенки вдоль длинной его стороны. Воздух подается по магистральным воздуховодам и стоякам в канал, перекрытый пластинами. Стояки располагаются через каждые 20 – 30 м. В зарубежной практике вместо фильтросных пластин применяются купольные, грибовидные и другой формы диффузоры, устанавливаемые на воздухоподводящем трубопроводе, смонтированном на днище аэротенка параллельно продольным его стенам.

В целях обеспечения возможности проведения ремонтных работ или полной замены

аэрационного оборудования без отключения и опорожнения аэротенка фирмой "Шумахер" (ФРГ) был разработан аэрационный агрегат, представляющий собой коллектор, к которому с двух сторон присоединены пористые трубки. Агрегат подвешивается на двух стояках, шарнирно связанных с разводящим воздухопроводом, что позволяет легко поднимать его с помощью ручной лебедки для осмотра или замены трубок в случае их выхода из строя.

В последние годы в Российской Федерации для аэрации стали применять высокопористые полиэтиленовые трубчатые аэраторы фирмы «Экополимер» и «Этек». Каркас аэратора изготавливаются из обычных пластмассовых труб диаметром 120÷150 мм с продольными прорезями или отверстиями для выхода воздуха (рис. 4.16). Трубка резьбовым соединением присоединяется к коллектору. Применяются также пластмассовые пористые диффузоры как в виде тарельчатых аэраторов, монтируемых на воздуховоде через определенные расстояния на резьбовом соединении, поверхность которых путем напыления полимерного материала покрывается пористым слоем, который и обеспечивает образование воздушных пузырьков диаметром 2-3 мм в процессе аэрации (рис 4.17).

Для аэрации сточных вод на многих станциях аэрации устанавливаются тарельчатые аэраторы, диспергирующие воздух материалы из пористоволокнистого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой. Диаметр такого аэратора 300 мм с той же пропускной способностью, что

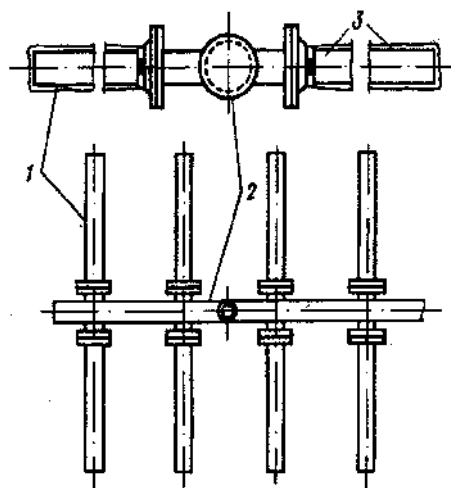


Рис. 4.16. Аэратор решетчатый тканевый: 1 – перфорированные трубки; 2 – коллектор; 3 – полиэтиленовые аэраторы



Рис. 4.17. Общий вид аэрационной системы с тарельчатыми диффузорами

и у фильтросной пластины, т.е. $2-6 \text{ м}^3$ воздуха в час.

К среднепузырчатым аэраторам можно отнести перфорированные трубы, укладываемые у дна аэротенка, с отверстиями перфорации диаметром 3 – 4 мм. Воздухоподающие стояки устанавливают через 20 – 30 м. Трубы должны быть уложены строго горизонтально, иначе воздух будет продуваться неравномерно по длине трубы. В некоторых странах получил распространение низконапорный аэратор системы ИНКА. Аэратор представляет собой решетку из легких трубок, из нержавеющей стали с отверстиями от 1-2 до 6-7 мм. Решетка устанавливается вдоль одной из продольных стен аэротенка на глубине 0,6-0,9 м от поверхности воды.

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 аэрации 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. Однако эта система, распространения не получила.

Механическая аэрация. Системы механической аэрации иловых смесей известны давно, но широкое распространение они получили в 60-70-е годы 20-го столетия. Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: вовлечение воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора (ротором) и перемешивание его со всем содержимым аэротенка. Все механические аэраторы можно классифицировать следующим образом: по принципу действия - (импеллерные (кавитационные) и поверхностные; по плоскости расположения оси вращения ротора

– с горизонтальной и вертикальной осью вращения; по конструкции ротора – конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы поверхностного типа, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом. Поверхностный аэратор «Симплекс» (рис.4.18) представляет собой изготовленный из листовой стали полый усеченный конус с расширенной частью, обращенной кверху.

К внутренней поверхности конуса прикреплено несколько лопастей специальной формы. Вверху со стороны оси вращения лопасти приварены к колесу, ступица которого связана с валом, передающим вращение от двигателя на конус.

Кафедрой водоотведения МГСУ также разработана конструкция дискового аэратора, имеющего стабилизатор потока, устанавливаемый под аэратором с небольшим зазором (рис 4.19).

Импеллерные (кавитационные) аэраторы отличаются от поверхностных тем, что турбина погружается на значительную глубину в жидкость и соединяется с атмосферным воздухом либо через полый вал, приводящий турбину во

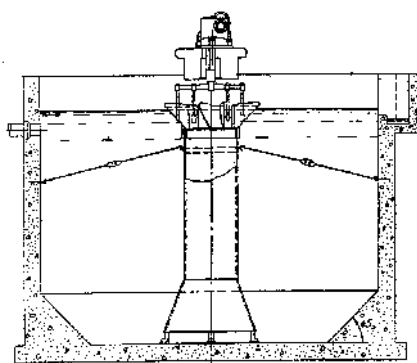


Рис. 4.18. Схема установки аэратора "Симплекс".

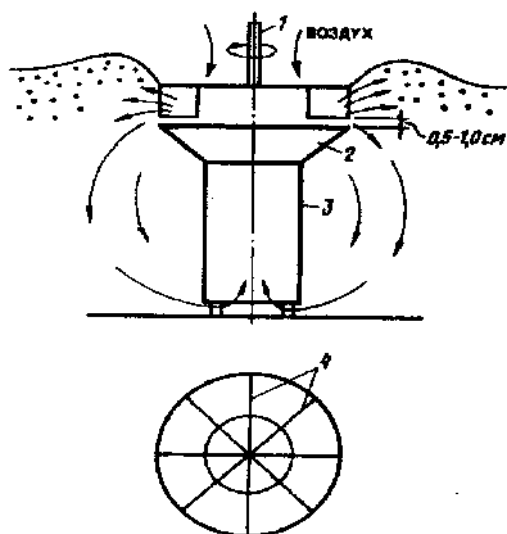


Рис. 4.19. Схема работы механического поверхностного аэратора дискового типа: 1 – вал аэратора; 2 – верхнее расширение стабилизатора; 3 – стабилизатор; 4 – лопасти аэратора

вращение, либо через трубу, в которой проходит вал вращения турбины. При вращении турбины труба освобождается от воды и воздух из атмосферы поступает в зону действия турбины и далее вовлекается в жидкость струями выбрасываемой из турбины воды, как это имеет место в поверхностных аэраторах.

Смешанная, или комбинированная, система сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации. Наибольшее распространение из комбинированных аэраторов получили турбинные аэраторы фирм «Дорр-Оливер» и «Пермутит», института Механобр.

Турбинный аэратор представляет собой одну, две турбины или более, 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 воздухораспределительное кольцо, в которое подается воздух от воздухоподводящего.

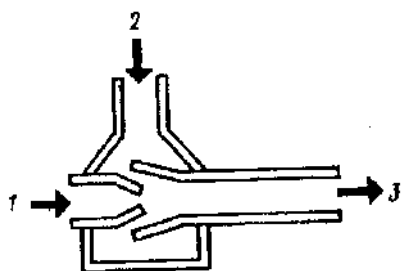


Рис. 4.20. Принцип действия эжекторного аэратора: 1 – сточная жидкость; 2 – подсос воздуха из атмосферы; 3 – водовоздушная смесь

Воздух выходит из кольца по периферии нижней турбины, благодаря действию которой он тонко диспергируется и хорошо перемешивается.

Струйные, или эжекторные, аэраторы по принципу действия аналогичны механическим поверхностным аэраторам с вертикальной осью вращения. Конструктивное оформление эжекторных аэраторов весьма разнообразно, однако, как правило, они имеют в своем составе сопло для пропуска рабочей жидкости, патрубок для вовлечения воздуха из атмосферы, камеру смешения и диффузор (рис. 4.20).

Выбор надежной и эффективной системы аэрации требует также рассмотрения факторов, определяющих работу аэраторов в каждом конкретном случае: количество аэрационных агрегатов, доступ к ним, возможность и частота их замены, безотказность в работе и пр.

4.1.5. Принципы расчета аэротенков и систем аэрации.

Применяемый в настоящее время в нашей стране метод расчета аэротенков основывается на следующих положениях.

Выбор типа аэрационного сооружения и режима его работы производится исходя из состава очищенных сточных вод и требуемой глубины их очистки.

Длительность аэрации зависит от начальной и конечной концентрации загрязнений в сточной воде, дозы ила, скорости окисления загрязнений, концентрации растворенного кислорода и гидродинамических условий в аэротенке. По расчетному времени аэрации определяется расчетный расход сточных вод.

Необходимая вместимость аэротенков без регенераторов определяется на основе расчетного расхода и длительности аэрации без учета рециркуляционного расхода активного ила. Вместимость аэротенков при наличии регенераторов активного ила, а также самих регенераторов определяется с учетом рециркуляционного расхода активного ила в них.

Выбор системы аэрации осуществляется с учетом пропускной способности очистных сооружений, технико-экономической эффективности системы аэрации, наличия и возможностей получения выбираемого аэрационного оборудования, его долговечности и надежности в работе.

Расчет системы аэрации предусматривает определение необходимого количества воздуха (кислорода), расчетных параметров его подачи в аэротенки (расход, давление, интенсивность подачи), числа воздухораспределительных устройств – аэраторов.

В соответствии со СНиП расчетное время аэрации t_{atm} в аэротенках-смесителях рекомендуется определять по следующей формуле:

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - S) \rho, \quad (4.5)$$

где L_{en} , L_{ex} – БПК_{полн} соответственно поступающей в аэротенк и очищенной сточной воды, мг/л; a_i – доза ила, г/л, определяемая из условий обеспечения требуемого качества

осветления очищенной сточной воды во вторичных отстойниках; S – зольность ила, зависящая как от характера загрязнений сточных вод, так и глубины очистки и возраста ила; принимается либо по экспериментальным данным, либо по данным работающих в аналогичных условиях очистных сооружений; ρ – удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Как отмечалось ранее, иловый индекс, характеризующий седиментационную способность ила, зависит от нагрузки на ил, а следовательно, от нагрузки на ил будет зависеть и доза ила в аэрационном сооружении. Практика показывает, что a_i может находиться в пределах 3-5 г/л – при продленной аэрации; 3-4 г/л – при низкой нагрузке; 2,5-3,5 г/л – при средней и 2-3 г/л – при высокой нагрузке.

Удельная скорость окисления загрязнений является функцией условий реализации процесса и описывается уравнениями ферментативных реакций и имеет вид:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_i C_o + K_o L_{ex}} \frac{1}{1 + \varphi a_i} \quad (4.6)$$

где $\rho_{\max}$ – максимальная удельная скорость окисления тех или иных видов загрязнений, мг/(г·ч), принимается по СНиП; C_o – концентрация растворенного кислорода, поддерживаемая в аэрационном сооружении, мг/л; K_i – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК_{полн}/л; K_o – константа, характеризующая влияние кислорода, мг O_2 /л; φ – коэффициент ингибирования биологических процессов продуктами распада активного ила, л/ч.

Значения $\rho_{\max}$, K_i , K_o , φ , S определяются экспериментальным путем для различных загрязнений.

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{\max} C_o a_i (1 - S)} [(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_o \ln \frac{L_{mix}}{L_{ex}}] K_p, \quad (4.7)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания (принимается равным 1,5 при биологической очистке до $L_{ex} \approx 15$ мг/л и 1,25 при $L_{ex} > 30$ мг/л); L_{mix} – БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной жидкости с учетом разбавления ее циркуляционным активным илом, мг/л, т.е.

$$L_{mix} = (L_{en} + L_{ex} R_i) / (1 + R_i) \quad (4.8)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила, определяется как

$$R_i = a_i / (1000 / I_i) - a_i \quad (4.9)$$

где I_i – иловый индекс, см³/г, зависящий от нагрузки загрязнений на ил и природы загрязнений, определяемый экспериментально.

При применении аэротенков с регенерацией активного ила вначале определяется необходимая продолжительность окисления загрязнений по формуле

$$t_o = (L_{en} - L_{ex}) / R_i a_r (1 - S) \rho, \quad (4.10)$$

где a_r – доза ила в регенераторе, г/л, определяемая как

$$a_r = a_i [(1 / 2 R_i) + 1], \quad (4.11)$$

где ρ – величина, рассчитываемая по приведенным выше формулам при дозе ила, равной a_r

Продолжительность обработки воды в собственно аэротенке t_{at} , ч, определяется по формуле

$$t_{at} = (2,5 / \sqrt{a_i}) \lg(L_{en} / L_{ex}). \quad (4.12)$$

Продолжительность регенерации ила для окисления изъятых из очищенной воды и накопленных илом загрязнений определяется как разница

$$t_r = t_o - t_{at}. \quad (4.13)$$

Вместимость аэротенков без регенераторов определяется как

$$W_{at} = t_{at} q_w, \quad (4.14)$$

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Вместимость аэротенков при наличии регенераторов ила определяется как

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w; \quad (4.15)$$

вместимость регенераторов

$$W_r = t_r R_i q_w. \quad (4.16)$$

Отношение объема регенераторов к суммарному объему аэротенков и регенераторов, взятое в процентах, получило название "*процента регенерации*". Таким образом, процент регенерации в суммарном объеме аэротенков и регенераторов определится как

$$r = W_r \cdot 100 / W_{at} + W_r. \quad (4.17)$$

При конструировании аэротенков предусматривается возможность их работы с переменным объемом регенераторов, что обеспечивается соответствующим расположением коммуникаций, связывающих аэротенки, регенераторы и сооружения илоотделения.

Как отмечалось выше, для поддержания рабочей дозы ила в аэротенках в заданных пределах необходимо выводить избыточный активный ил из системы аэротенк – вторичный отстойник.

Прирост активного ила P_i , мг/л, в аэротенках рекомендуется определять по формуле

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + K_q \alpha_{en}, \quad (4.18)$$

где C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л; K_q – коэффициент прироста; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод $K_q = 0,3$; при очистке сточных вод в окситенках величина K_q снижается до 0,25.

А. Расчет пневматической системы аэрации. Для определения необходимого количества воздуха для подачи в аэротенки производится расчет удельного расхода воздуха q_{air} на 1 м³ очищаемой воды, м³/м³, т.е.

$$q_{air} = q_0 (L_{en} - L_{ex}) / K_1 K_2 K_m K_3 (C_a - C_m) \quad (4.19)$$

где q_0 – удельный расход кислорода, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, принимаемый при очистке до БПК_{полн} = 15-20 мг/л равным 1,1, а до БПК_{полн} > 20 мг/л – 0,9; K_1 – коэффициент, учитывающий тип аэратора, т.е. размер пузырьков воздуха, образующихся при выходе из аэратора. Для среднепузырчатой и низконапорной аэрации $K_1 = 0,75$. При мелкопузырчатой аэрации этот коэффициент будет зависеть от плотности расположения аэраторов, выражаемой через отношение суммарной площади аэраторов f_{ar} к площади днища аэротенков f_{at} ; K_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора, h_a . Значение коэффициента K_2 возрастает с 0,4 при $h_a = 0,5$ м, до 3,3 при $h_a = 6$ м; K_m – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод и принимаемый равным 1 при $t_w = 20^\circ\text{C}$. Для температуры воды, отличной от 20°C ,

$$K_m = 1 + 0,02 (t_w - 20), \quad (4.20)$$

здесь t_w – среднемесячная температура воды за летний период, $^\circ\text{C}$; K_3 – коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; для других видов сточных вод определяется экспериментальным путем. При наличии в сточных водах СПАВ, коэффициент K_3 в значительной степени зависит от отношения f_{ar}/f_{at} и изменяется от 0,59 при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до 0,99 при $f_{ar}/f_{at} = 1$; C_a – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяемая как

$$C_a = (1 + h_a / 20,6) C_T \quad (4.21)$$

здесь C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры T и атмосферного давления:

$T, ^\circ\text{C}$	10	15	20	25	30
C_T	11,3	10	9	8,2	7,4

C_0 — средняя концентрация растворенного кислорода в иловой смеси в аэротенке,

мг/л; может приниматься от 0,5 в головной части аэротенка до 2 мг/л в хвостовой части.

Определив удельный расход воздуха, м^3 на 1 м^3 очищаемой жидкости, определяют общую потребность воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, как

$$Q_{air} = q_{air}q_w. \quad (4.22)$$

По пропускной способности аэратора определяется число пневматических аэраторов, а, следовательно, и площадь аэраторов f_{ar}

$$f_{ar} = 2n_a f_{ap}, \quad (4.23)$$

где n_a – число аэраторов; f_{ap} – площадь одного аэратора.

В площадь аэраторов включаются и просветы между аэраторами, если они не превышают площади аэратора [поэтому в формулу (4.79) вводится коэффициент 2].

По полученному значению f_{ar} определяется отношение f_{ar}/f_{at} и уточняется значение всех коэффициентов, входящих в формулу определения удельного расхода воздуха (и зависящих от этого отношения), а также уточняется удельный расход воздуха. Если принятая в первом приближении величина f_{ar}/f_{at} совпадает с расчетной, то далее определяется интенсивность аэрации, под которой понимается количество воздуха, подаваемое на 1 м^2 площади аэротенка в 1 ч:

$$J_a = q_{air}H_{at}/t_{at}, \quad (4.24)$$

где H_{at} – глубина аэротенка.

Если же принятая в первом приближении величина f_{ar}/f_{at} отличается от величины, получаемой в результате проведенного расчета, то принимается новое значение f_{ar}/f_{at} и соответствующее ему значение коэффициента K_1 и расчет удельного расхода воздуха повторяется до тех пор, пока применяемое значение K_1 не будет равным получающемуся в результате расчета.

Максимальные значения интенсивности зависят от отношения площади аэраторов к площади днища аэротенка, т.е. от f_{ar}/f_{at} , и изменяются от $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до $100 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ при $f_{ar}/f_{at} = 1$.

Если расчетное значение J_a превышает максимально допустимое для данных условий, то необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны, т.е. увеличить число аэраторов. Если J_a меньше минимально допустимого ее значения, то следует увеличить расход воздуха.

Расчет воздухопроводов состоит в подборе диаметров трубопроводов и определении потерь напора в них. Скорость движения воздуха в общем и распределительном воздухопроводах обычно принимают равной $10 - 15 \text{ м/с}$; в воздухопроводах небольшого диаметра, подающих воздух в лотки под фильтросы, – $4 - 5 \text{ м/с}$.

Общие гидравлические потери напора в воздуховоде h , м, складываются из потерь на трение по длине и местных сопротивлений:

$$h = h_{тр} + h_m = \frac{\lambda l}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma + \frac{\zeta v^2}{2g} \gamma = \left(\frac{\lambda l}{D} + \zeta \right) \frac{v^2}{2g} \gamma, \quad (4.25)$$

где $h_{тр}$ – потери напора в воздуховоде на трение по длине, м; h_m – местные потери напора, м; λ – коэффициент сопротивления; l , D – длина и диаметр трубопровода, м; v – скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; γ – плотность воздуха, кг/м^3 ; ζ – суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Суммарное значение местных сопротивлений и сопротивлений на трение в воздуховодах не должно превышать $0,3 - 0,35 \text{ м}$.

Сопротивление пластин фильтросных быстро возрастает по мере эксплуатации, поэтому при определении общего напора воздухоудовки сопротивление проходу воздуха через фильтросные пластины следует принимать $500 - 800 \text{ мм}$.

Требуемый общий напор $H_{общ}$, м, при распределении воздуха через пористые диффузоры составит

$$H_{общ} = h_{тр} + h_m + h_{\phi} + h_a \quad (4.26)$$

где h_a – глубина воды в аэротенке (от поверхности воды до поверхности диффузора).

На воздухоудовной станции следует устанавливать не менее двух воздухоудовок – рабочую и запасную. Для обеспечения маневренности во время эксплуатации лучше установ-

ливать не менее двух рабочих воздуходувок. Воздуходувки подбирают по каталогу, исходя из общих потерь напора и расчетного расхода воздуха.

При благоприятных условиях допускается установка воздуходувок в непосредственной близости к аэротенкам.

Б. Расчет механической системы аэрации (расчет дискового аэратора). Расчет механической системы аэрации заключается в выборе типа аэратора, количества аэраторов как с точки зрения обеспечения требуемой окислительной способности, так и с точки зрения выполнения требований обеспечения эффективного перемешивания иловой смеси в аэрационной зоне.

Исходя из требований обеспечения необходимой окислительной способности определяется число аэраторов:

$$n_{\text{аэр}} = \frac{q_0 q_w (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}})}{K_3 K_T [\text{OC}] d}, \quad (4.27)$$

где $[\text{OC}]$ – окислительная способность, принимаемая по каталогам производителя аэраторов, кг/ч; d – дефицит кислорода в аэротенке, равный

$$d = (C_a - C_0) / C_0 \quad (4.28)$$

Число аэраторов из условия обеспечения перемешивания иловой смеси определяется как

$$n'_{\text{аэр}} = f_{\text{ат}} / LB_{\text{ат}}, \quad (4.29)$$

где $f_{\text{ат}}$ – площадь аэротенков, м²; L – длина зоны, обслуживаемой одним аэратором, м, принимается по каталогам производителей аэраторов; $B_{\text{ат}}$ – ширина коридора аэротенка, м.

4.2. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА БИОФИЛЬТРАХ.

4.2.1. Теоретические основы метода биофильтрации.

Биологический фильтр (биофильтр) – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической плёнкой (биоплёнкой), образованной колониями микроорганизмов (рис. 4.21).

Биофильтр состоит из следующих частей:

- фильтрующей загрузки, помещенной в резервуар круглой или прямоугольной формы в плане;
- водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;
- дренажного устройства для удаления очищенной сточной воды;
- вентиляционного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

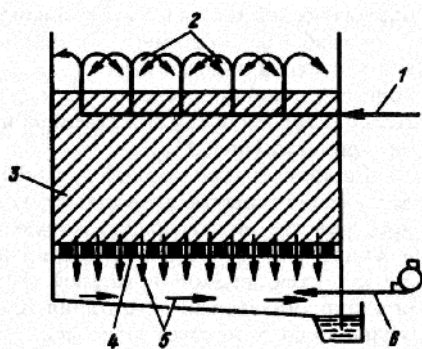


Рис. 4.2.1. Схема биологического фильтра: 1 – подача сточных вод; 2 – водораспределительное устройство; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – дренажное устройство; 5 – очищенная сточная вода; 6 – вентиляционное устройство

Толщина образующейся биоплёнки зависит от гидравлической нагрузки, концентрации органических веществ, от пористости и удельной поверхности загрузочного материала, влияния внешней среды и многих других факторов. В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биоплёнки может составлять от микрон в верхних его слоях до 3–6 мм в нижних.

Процессы очистки сточных вод от загрязнений в биологических фильтрах во многом сходны с процессами очистки сточных вод в других сооружениях биологической очистки, и, в первую очередь, в сооружениях почвенной очистки на полях орошения и полях фильтрации. Процессы биологического окисления органических загрязнений в биофильтрах протекают значительно интенсивнее за счёт увеличенной пористости загруз-

зочного материала, по сравнению с пористостью почв.

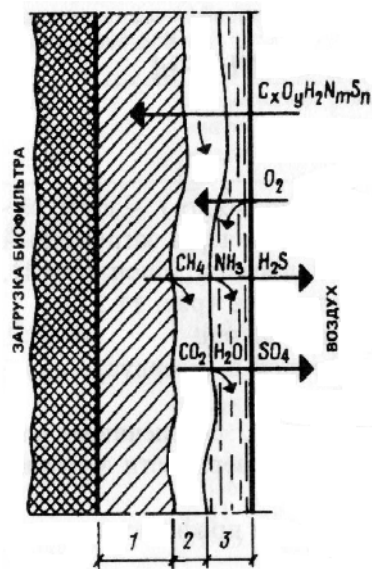


Рис. 4.2.2. Схема обмена веществ в элементарном слое биофильтра: 1 - анаэробный слой биопленки; 2 - аэробный слой биопленки; 3 - слой сточной воды

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 плёнкой. Под термином «фильтрация» не следует упрощенно понимать только процессы механического процеживания сквозь толщу загрузочного материала, так как *биофильтр это сооружение биологической очистки с фиксированной биомассой, закреплённой на поверхности среды-носителя (загрузочного материала), которая осуществляет процессы извлечения и сложной биологической переработки загрязнений из сточных вод.* Микроорганизмы биоплёнки в процессе ферментативных реакций окисляют органические вещества, получая при этом питание и энергию, необходимые для своей жизнедеятельности (рис. 4.2.2). 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 плёнки.

Отработавшая и омертвевшая плёнка смывается и выносится из тела биофильтра протекающей сточной водой. Необходимый для биохимического процесса кислород поступает в толщу загрузки путём естественной или искусственной вентиляции фильтра.

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

4.2.2. Классификация биофильтров.

Биофильтры могут работать на полную и неполную биологическую очистку и классифицируются по различным признакам, основными из которых являются конструктивные особенности и вид загрузочного материала. По виду загрузочного материала биофильтры делятся на: биофильтры с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень и др.) и биофильтры с плоскостной загрузкой (пластмассы, асбестоцемент, керамика, металл, ткани и др.).

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются на следующие виды: капельные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 20 - 30 мм и высоту слоя загрузки 1 - 2 м; высоконагружаемые, имеющие крупность загрузочного материала 40-60 мм и высоту слоя загрузки 2 - 4 м; биофильтры большой высоты (башенные), имеющие крупность загрузочного материала 60 - 80 мм и высоту слоя загрузки 8 - 16 м. Объемный загрузочный материал имеет плотность 500-1500 кг/м³ и пористость 40-50%.

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на следующие виды:

- с жесткой засыпной загрузкой; в качестве загрузки могут использоваться керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы; в зависимости от материала загрузки плотность ее составляет 100-600 кг/м³, пористость 70-90%, высота слоя загрузки 1-6 м;
- с жесткой блочной загрузкой; блоки могут выполняться из различных видов пластмассы (гофрированные и плоские листы или пространственные элементы), а также из



ых листов; плотность пластмассовой загрузки $40-100 \text{ кг/м}^3$, пористость 90-97%, высота слоя загрузки 2-16 м;

- с мягкой или рулонной загрузкой, выполненной из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов; плотность такой загрузки $5-60 \text{ кг/м}^3$, пористость 94-99%, высота слоя загрузки 3-8 м.

Пропускная способность биофильтров зависит от конструктивных особенностей того или иного типа сооружения и объясняется содержанием активной биомассы на единицу объема сооружения.

Биофильтры с объёмной загрузкой.

Капельный биофильтр. В капельном биофильтре сточная вода подается в виде капель или струй. Естественная вентиляция воздуха происходит через открытую поверхность биофильтра и дренаж. Такие биофильтры имеют низкую нагрузку по воде - обычно $0,5 - 2 \text{ м}^3$ на 1 м^3 объема загрузочного материала в сутки. Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Капельные биофильтры предназначены для полной биологической очистки сточных вод.

Сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, самотеком (или под напором) поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофильтра. Вода, профильтровавшаяся через толщу загрузки, проходит через дренажную систему, а далее по непроницаемому днищу стекает к отводным лоткам, расположенным за пределами биофильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых отмершая биоплёнка отделяется от очищенной воды. При нагрузке по органическим загрязнениям больше допустимой, загрузочный материал быстро заиливается, и работа капельных биофильтров резко ухудшается.

Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры). В начале XX столетия появились биофильтры, которые у нас в стране получили название - аэрофильтры, а за рубежом - биофильтры высокой нагрузки.

Отличительной особенностью этих сооружений является более высокая, по сравнению с капельными биофильтрами, окислительная мощность и пропускная способность, что обусловлено меньшей заиляемостью и лучшим воздухообменом. Высокая скорость движения сточной воды в биофильтре обеспечивает постоянный вынос задержанных трудноокисляемых нерастворенных примесей и отмирающей биопленки. Поступающий в тело биофильтра кислород воздуха расходуется в основном на биологическое окисление части загрязнений, не вынесенных из тела биофильтра. Высоконагружаемые биофильтры могут быть использованы, как для неполной так и полной биологической очистки сточных вод.

Башенные биофильтр. Эти биофильтры имеют высоту 8-16 м и применяются при благоприятном рельефе местности для очистных станций пропускной способностью до $50 \text{ тыс.м}^3/\text{сут}$ и при БПК очищенных сточных вод 20-25 мг/л. В отечественной практике они

распространения не получили.

Биофильтры с плоскостной загрузкой.

Появление в 50-х годах XX века плоскостных – блочных, мягких и засыпных грузочных материалов позволило значительно повысить производительность биологических фильтров представлены в табл. 4.8.

Плотность плоскостных грузочных материалов ($12,2-140 \text{ кг/м}^3$) значительно меньше, чем традиционных из гравия или щебня ($1350-1500 \text{ кг/м}^3$), что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции биофильтров. Пористость плоскостных грузочных материалов (87-99%) более чем вдвое выше, чем у объемных грузов (40-50%), что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и экономить электроэнергию. Даже при одинаковой удельной поверхности активная поверхность плоскостных грузочных материалов значительно больше за счет отсутствия мертвых зон, образующихся при соприкосновении фракций засыпного грузочного материала.

Таблица 4.2.1

Плоскостные грузочные материалы

Загрузка	Страна изготовитель	Плотность, кг/м^3	Пористость, %	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{м}^3$	Масса, кг/м^2	Материал
1	2	3	4	5	6	7
Полигрид	США	80	95	45	1,77	Полистирол
Доупак	США	60	94	82	0,73	Саран
Сэфпак	США	48-64	94	90-187	0,17-0,78	Полистирол
Клоизонил I,II	Франция	70-80	94-95	180-220	0,36-0,39	ПВХ
Корозил	США	43-68	95-97	122	0,45	ПВХ
Пласдек	Швеция	28-70	95-98	100-230	0,19-0,30	ПВХ
Фловик А,В,С	Великобритания	38-76	95-97	86-160	0,44-0,48	ПВХ
Гидропак	Германия	31-67	94-98	200	0,16-0,4	ПВХ
Зульцер	Швейцария	140	90	450	0,31	ПВХ
Биопак	-	75	93	124	0,60	Полистирол
НСВ	-	41	96	73	0,56	Полистирол
Сложная волна	СССР	40	96	80	0,50	Полиэтилен
Флокор Е, М, Р	Великобритания	39-70	96	90-330	0,21-0,43	ПВХ
Эвалпорит	Германия	50	94	160	0,31	ПВХ
Кларпак ВР-Т	Польша	28	98	135	0,21	ПВХ
ЗОЗП	РФ	60	95	120	0,5	Полиэтилен
Трак	РФ	20	97	140	0,14	ПВХ
Трактор	РФ	48	94	187	0,25	ПВХ

На производительность биофильтра большое влияние оказывает конфигурация грузочного материала. В грузочных материалах, где жидкость движется строго вертикально по гладкой поверхности, гидравлический режим ламинарный (идеальный вытеснитель), а в

загрузочном материале со сложной формой поверхности, где поток отклоняется по вертикали (Флокор, Пласдек и др.), режим движения жидкости турбулентный.

Пропускная способность биофильтров с плоскостной загрузкой превышает соответствующие показатели биофильтров с объемной загрузкой в 3-8 раз, при одинаковом качестве очистки сточных вод.

4.2.3. 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 биофльтрации 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 двухступенчатыми, 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.

На рис. 4.2.3, а приведена классическая схема очистки сточных вод при концентрации органических загрязнений по БПК_{полн} <300 мг/л. По этой схеме сточная вода, после первичного отстаивания поступает на биофильтр и далее биологически очищенная вода осветляется во вторичном отстойнике.

Технологическая схема (рис. 4.2.3, б) предназначена для очистки сточных вод, если концентрация загрязнений по БПК_{полн} >300 мг/л.

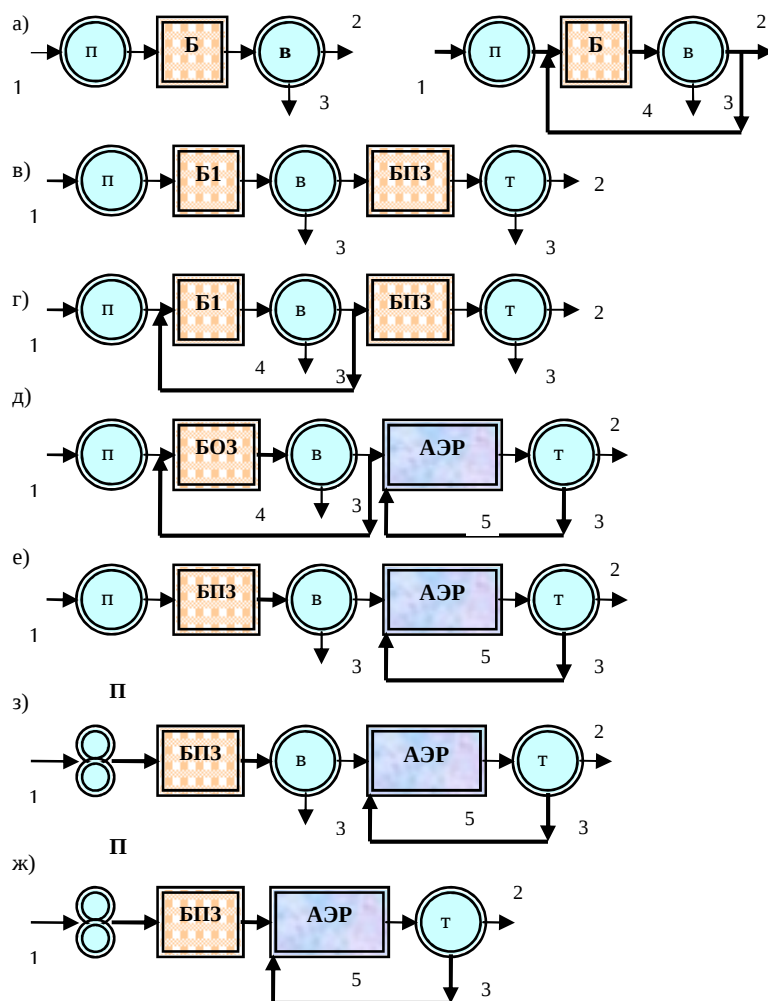


Рис. 4.2.3. Технологические схемы работы биофильтров:

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 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-П - биофильтр

первой ступени; Б-П - биофильтр второй ступени; БОЗ - биофильтр с объемной загрузкой; БПЗ - биофильтр с плоскостной загрузкой; АЭР - аэротенк; ВО - вторичный отстойник;

ТО — третичный отстойник; П — песколовки.

По этой схеме часть биологически очищенной сточной воды отбирается после вторичного отстойника и подаётся перед биофильтрами и тем самым достигается требуемое разбавление воды, поступающей на биологическую очистку. Применение схемы с рециркуляцией сточной воды повышает эффективность работы очистных сооружений.

Для очистки сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений по БПК, содержащих трудноокисляемые загрязнения, следует применять двухступенчатые технологические схемы (рис. 4.2.3, в, г, д). При этом на первой ступени используются биофильтры, а на второй — другие виды биологических окислителей, например аэротенки.

4.2.4. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров.

Орошение производится распределительными устройствами, которые подразделяются на две основные группы: неподвижные и подвижные. К неподвижным распределителям относятся дырчатые желоба или трубы и разбрызгиватели (спринклеры), к подвижным — качающиеся желоба и вращающиеся реактивные распределители (оросители). В отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получили спринклерные системы и реактивные оросители.

Спринклерное орошение. Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров (рис. 4.49).

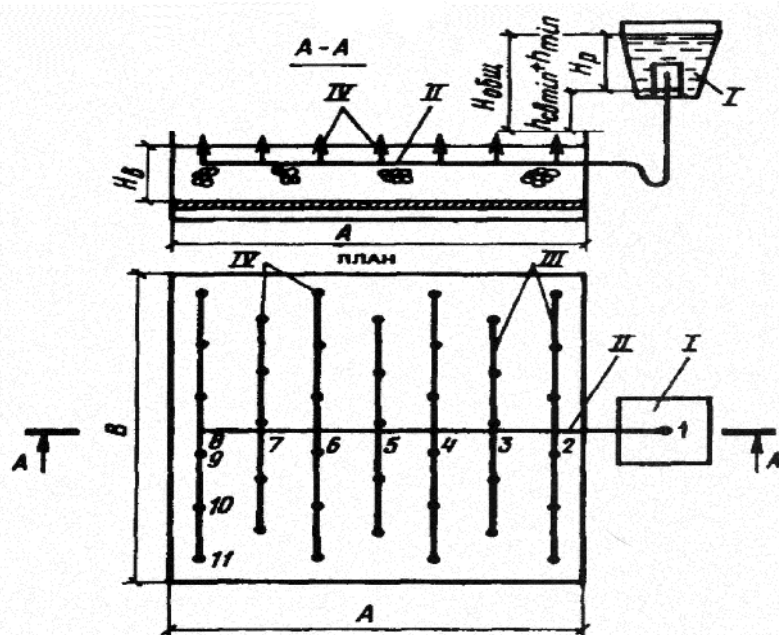


Рис. 4.2.4. Схема спринклерной водораспределительной сети биофильтра: I — дозирующий бак; II — магистральная труба; III — разводящие трубы; IV — спринклеры; 7-11 — расчетные участки водораспределительной сети.

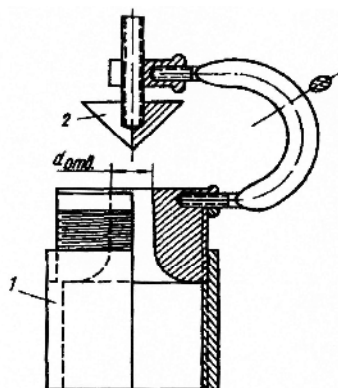


Рис. 4.2.4. Спринклерная головка: 1 — корпус; 2 — отводящий зонт

Период орошения биофильтра зависит от вместимости бака и размеров выпускной трубы, продолжительность же наполнения бака зависит только 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.

Спринклеры (спринклерные головки) — специальные насадки, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспределительных труб, уложенных на поверхности или в

теле биофильтра. Отверстия спринклерных головок невелики - обычно 19; 22 и 25 мм. Во избежание коррозии спринклеры изготавливают из пластмассы, бронзы или латуни. Один из типовых насадков, применяемый в отечественной практике, показан на рис. 4.2.4.

При большой площади биофильтры разделяются на секции с самостоятельными водораспределительными сетями и отдельными дозирующими баками. Разбрызгиватели располагают так, чтобы площадь, орошаемая одним из них, частично перекрывала площади, орошаемые соседними разбрызгивателями. Потери напора определяют для наиболее удаленного от дозирующего бака разбрызгивателя.

Водоструйная система орошения. 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, расположенными на днище разводящих труб и лотков; водоотбойных круглых в плане розеток, имеющих плоскую или вогнутую сферическую форму с гладкими или фигурными кромками. На рис. 4.2.5 приведены схемы оросителей струйного типа и зависимость расхода сточной воды через насадку от высоты расположения насадочного элемента.

Водоотбойные розетки располагаются над или на поверхности загрузочного материала; в первом случае они подвешиваются к разводящим трубопроводам или лоткам, а во втором - закрепляются на поверхности загрузки. Разводящая сеть располагается над поверхностью загрузочного материала на расстоянии 0,5 - 1 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.

Расчет водоструйной системы сводится к определению размеров разводящей сети (ширина и высота лотка или диаметр трубы), а также числа и диаметра отверстий насадочных элементов. При монтаже водоструйной системы особое внимание обращается на расположение водоотбойных розеток по отношению к насадочным элементам, вертикальная ось которых должна располагаться строго над центром водоотбойных розеток.

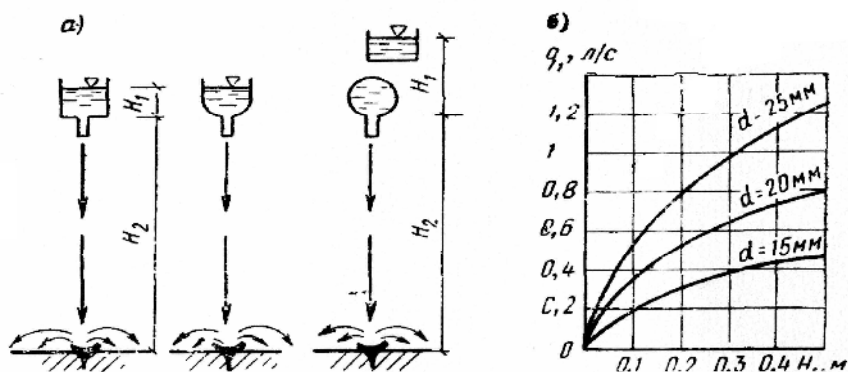


Рис. 4.2.5. Схема оросителей струйного типа (а) и зависимость $q = f(H_1)$ (б)

Реактивные вращающиеся водораспределители (оросители). Вращающийся ороситель состоит из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке. 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. Такие реактивные оросители получили большое распространение в отечественной и зарубежной практике (рис. 4.2.6).

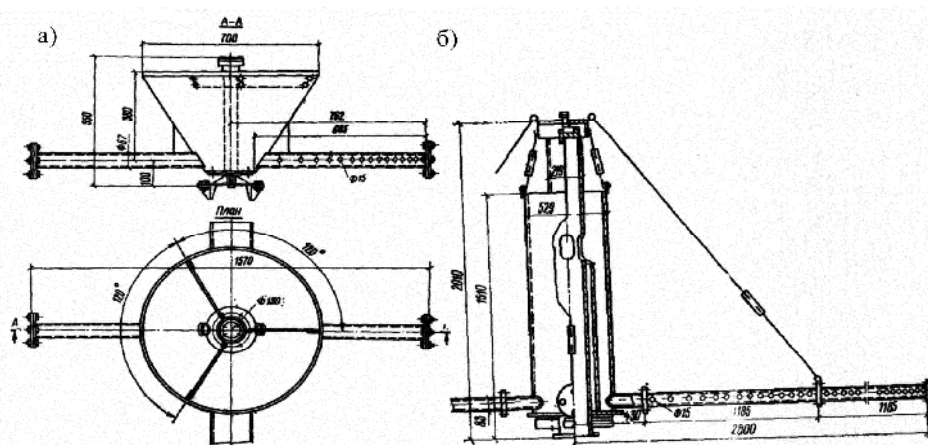


Рис. 4.2.6. Реактивные оросители: а - двухтрубный; б – четырёхтрубный.

Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2 - 1м), что является одним из достоинств этого водораспределителя. Кроме того, при реактивных оросителях отпадает необходимость в устройстве дозаторов. Диаметр отверстий в радиально расположенных трубах принимается равным 10 -15 мм, расстояние между отверстиями увеличивается от периферии к центру, что обеспечивает более равномерное орошение биофильтра. Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, числа отверстий на распределительных трубах, расстояний между отверстиями, числа оборотов оросителя и напора воды, обеспечивающего необходимые скорости истечения воды из отверстий оросителя. Распределительные трубы реактивного оросителя располагаются на 0,2 м выше поверхности загрузочного материала.

4.2.5. Системы вентиляции биофильтров.

В зависимости от типа и конструкции биофильтров различают два типа вентиляции биофильтров: естественную и искусственную. 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 поддержания требуемой температуры. Для вентиляции высоконагружаемых биофильтров применяются вентиляторы низкого давления типа ЭВР или ЦЧ, обеспечивающие напор от 80 до 100 мм. Подбор вентилятора осуществляется на основании расчёта биофильтра при определении количества воздуха, определяемого по формуле:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{уд}} \cdot Q, \quad (4.30)$$

где Q – среднесуточный расход сточной воды, м³/сут; $V_{\text{уд}}$ – удельный расход воздуха, принимается по СНиПу.

В связи с большой пористостью плоскостного загрузочного материала, возможно переохлаждение очищаемой сточной жидкости в зимний период в биофильтрах, установленных на открытом воздухе. Для предупреждения переохлаждения биофильтров в зимний период необходимо: установить противоветровую защиту; соорудить над биофильтром купольное перекрытие; снизить коэффициент неравномерности притока сточных вод.

4.2.6. Расчёт и проектирование биофильтров.

Длительное время в отечественной практике использовался способ расчета биофильтров по окислительной мощности. По этому методу необходимый объем материала загрузки определяется по уравнению

$$W = L_{\text{en}} \cdot Q / OM, \quad (4.31)$$

где L_{en} - БПК поступающих сточных вод, г/м³; Q - расход сточных вод, м/сут; OM — окислительная мощность биофильтра, г/(м³сут).

Для оптимизации расчёта биофильтров проф. С. В. Яковлевым был предложен графо-аналитический способ расчета высоконагружаемых биофильтров, в основу которого положена функциональная зависимость БПК₅ выходящей после очистки на биофильтре воды от ряда факторов:

$$L_{ex} = f(L_{en}, A, q, T, H, B), \quad (4.32)$$

где L_{ex} , L_{en} - БПК сточных вод, соответственно выходящих и поступающих, г/м³; A - концентрация взвешенных загрязнений в сточных водах, поступающих на биофильтр, г/м³; q - гидравлическая нагрузка, м³/ (м²/сут); T - температура сточной воды, °С; H - высота биофильтра, м; B - расход воздуха, необходимый для аэрации 1 м³ сточной воды, м³.

Обработав многочисленные отечественные и зарубежные данные, проф. С. В. Яковлев получил критериальную зависимость:

$$\Phi = f(\Phi); \quad (4.33)$$

$$\Phi = L_{ex} \cdot 100\% / q^{0,4}; \quad (4.34)$$

$$\Phi = 10 \cdot H \cdot K_T / q^{0,4}; \quad (4.35)$$

где Φ , - критериальный комплекс; K_T - температурная константа.

В дальнейшем проф. С.В. Яковлевым и канд. техн. наук Э.П. Фазуллиной были проведены исследования влияния на очистку сточных вод объема подаваемого воздуха, крупности загрузки и рециркуляции.

$$\Phi_2 = H^x \cdot B^y \cdot K_T^C / q^z \quad (4.36)$$

где x , y , c и z - параметры, определяемые опытным путем.

В результате была рекомендована следующая формула для определения параметров биофильтров:

$$\lg(L_{en}/L_{ex}) = \alpha \cdot H \cdot B^{0,6} \cdot K_t / q^{0,4} + \beta, \quad (4.37)$$

где α и β - постоянные коэффициенты,

$$K = 10^{\alpha \cdot \Phi + \beta}, \quad (4.38)$$

где Φ - критериальный комплекс, определяемый по формуле

$$\Phi = H \cdot B_{уд} \cdot 0,6 \cdot K_T / q^{0,4}, \quad (4.39)$$

здесь K_T - температурная константа потребления кислорода, определяемая по формуле:

$$K_t = 0,2 \cdot 1,047^{T-20}, \quad (4.40)$$

Метод расчёта по критериальному комплексу может применяться при гидравлической нагрузке от 1 до 30 м/(м²сут) и высоте биофильтра до 4 м.

Приведённый метод расчета высоконагружаемых биофильтров показывает, что эффективность их работы напрямую связано с крупностью фракций загрузочного материала и его пористостью. Следовательно для повышения пропускной способности биофильтров следует идти по пути увеличения пористости загрузки, поэтому в отечественной и зарубежной практике получили распространение биофильтры с плоскостной загрузкой, которые имеют пористость 70 - 99% и удельную поверхность для образования биопленки от 60 до 250 м²/м³

загрузки. В этом заключается основное принципиальное отличие биофильтров с плоскостной загрузкой от биофильтров с объемной загрузкой.

Метод расчета биофильтров с плоскостной загрузкой предложен проф. Ю.В. Вороновым. Известно, что L_{ex} является функцией следующих величин:

$$L_{ex} = f(L_{en}, q_{pf}, S_{y\partial}, T, B, H, P), \quad (4.41)$$

где q_{pf} - гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{сут})$; S - удельная поверхность загрузочного материала, $\text{м}^2/\text{м}^3$; T - температура сточной воды; $^{\circ}\text{C}$; B - расход воздуха, м^3 на 1 м^3 сточной воды; H - высота биофильтра, м; P - пористость загрузочного материала, %.

В биофильтрах с плоскостной загрузкой аэрация осуществляется естественным путем, поэтому можно считать, что воздуха вполне достаточно и функциональную зависимость (4.97) можно записать в виде

$$L_{ex} = f(F, T, H, P), \quad (4.42)$$

где F — масса органических загрязнений по БПК₅, поступающих в сутки на единицу площади поверхности загрузочного материала биофильтра, $\text{г}/(\text{м}^2 \text{сут})$.

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{y\partial}, \quad (4.42)$$

Для биофильтров с плоскостной загрузкой критериальная зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$\eta = P \cdot H \cdot K_t / F. \quad (4.43)$$

В табл. 4.2.2 приведены значения критериального комплекса η в зависимости от БПК₅ очищенной сточной воды. Полученная зависимость может быть выражена аналитически:

Таблица 4.2.2.

L_{ex} , мг/л	η	L_{ex} , мг/л	η
10	3,30	35	1,60
15	2,60	40	1,45
20	2,25	45	1,30
25	2,00	50	1,20
30	1,75		

Методы расчета биофильтров с объемной и плоскостной загрузкой, разработанные проф. С.В. Яковлевым и проф. Ю.В. Вороновым, заложены в современную нормативную базу проектирования биологических фильтров.

Расчёт биофильтров по СНиП 2.04.03-85.

Капельные биофильтры в зависимости от расхода сточных вод и среднегодовой температуры воздуха размещают в неотапливаемых или отапливаемых помещениях, допустимое значение БПК_{полн} сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет 220 мг/л; гидравлическая нагрузка - $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{сут})$.

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K :

$$K = L_{en} / L_{ex}, \quad (4.44)$$

где L_{en} , L_{ex} - БПК_{полн} сточных вод, соответственно, поступающей и очищенной;

Таблица 4.2.3

Параметры для расчета капельных биофильтров				
Гидравлическая нагрузка $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{сут})$	Значения K при температуре сточной воды $T, ^\circ\text{C}$			
	8	10	12	14
1	8,0/11,6	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	8,2/11,7	10,0/12,8
2	4,9/8,2	7,0/10,0	6,6/10,7	8,0/11,5
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,6/10,1	6,7/10,7
3	3,8/6,0	4,4/7,1	5,0/8,6	5,9/10,2

Примечание. Перед чертой даны значения K для высоты биофильтра $H = 1,5$ м; за чертой - $H = 2$ м.

2) по среднезимней температуре сточной воды T и значению K по табл. 4.2.3 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q . Если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 4.10. то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

3) по расходу очищаемых сточных вод Q , $\text{м}^3/\text{сут}$, и гидравлической нагрузке q ($\text{м}^3/\text{м}^2 \text{сут}$) определяется общая площадь биофильтров S , м^2 :

$$S = Q/q. \quad (4.45)$$

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности, условий их эксплуатации и пр. Число секций должно быть не менее 2 и не более 6 - 8, все секции должны быть рабочими.

Высоконагружаемые биофильтры, размещаются на открытом воздухе и высоту биофильтров назначают в зависимости от БПК_{полн} очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку - в пределах 10-30 $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{сут}$. Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод - 300 мг/л.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K по формуле (4.44);

2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{\text{уд}}$ по табл. 4.2.4; для очистки без циркуляции значения H , q и $V_{\text{уд}}$ следует принимать по ближайшему большему значению K , для очистки с рециркуляцией - по меньшему значению K .

Таблица 4.2.4

Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров									
Вы- сота био филь- тра	Значение K при среднезимней температуре сточной воды								
	$T\text{ }^{\circ}\text{C}$								
	8		10		12		14		
	и гидравлической нагрузке q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$								
	10	20	10	20	10	20	10	20	
При $V_{\text{уд}} = 8\text{ м}^3$ на 1 м^3 воды									
2	3,0	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02	
3	5,2	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25	
4	9,0	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05	
При $V_{\text{уд}} = 10\text{ м}^3$ на 1 м^3 воды									
2	3,6	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67	
3	6,1	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04	
4	10,	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10	
При $V_{\text{уд}} = 12\text{ м}^3$ на 1 м^3 воды									
2	4,3	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31	

3	7,2	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12

При очистке без рециркуляции по формуле (4.102) находят площадь биофильтров.

При очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую БПК_{полн} смеси поступающей и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр, $L_{см}$, мг/л, коэффициент рециркуляции K_{rc} и площадь биофильтров S :

$$L_{mix} = K \cdot L_{ex}; \quad (4.46)$$

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex}); \quad (4.47)$$

$$S = Q \cdot (n_{pec} + 1) / q. \quad (4.48)$$

При расчете высоконагружаемых биофильтров для сточных вод, имеющих $T < 8^\circ\text{C}$ и $T > 14^\circ\text{C}$, коэффициент K_t определяется по формуле (4.11).

Биофильтры с плоскостной загрузкой, как правило, размещают в закрытом помещении, высоту биофильтра назначают в зависимости от требуемой степени очистки. Допустимое значение БПК_{полн} поступающих сточных вод при полной биологической очистке 250 мг/л; при неполной очистке — не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и количества органических загрязнений в поступающей сточной воде.

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой ведется по БПК в такой последовательности:

1) в зависимости от требуемого значения БПК₅ очищенных вод L_{ex} , мг/л, по формуле (4.43) определяется критериальный комплекс:

$$\eta = P \cdot H \cdot K_T / F,$$

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{y\partial} = M / S_{y\partial},$$

где q - гидравлическая нагрузка, м³/ (м³/сут); $S_{y\partial}$ - площадь удельной поверхности загрузочного материала, м²/м³; M - нагрузка по БПК на 1 м³ объема биофильтра, г/(м³сут),

2) по заданной среднесзимней температуре сточных вод T подсчитывается K_T , глубина слоя загрузки H назначается в зависимости от требуемой степени очистки, но не менее 3 - 4 м. Величина P определяется по формуле (4.99) с учетом конструктивных размеров плоскостной загрузки F .

$$F = P \cdot H \cdot K_T / \eta;$$

3) по заданной величине L_{ex} и конструктивному размеру $S_{y\partial}$ из формулы (4.42) находится допустимая гидравлическая нагрузка q_n , м³/ (м³сут)

$$q_n = F \cdot S_{y\partial} / L_{en}; \quad (4.49)$$

4) по заданному суточному расходу Q , м³/сут, и подсчитанной величине q_n определяется объем загрузочного материала биофильтра, а затем число биофильтров и их конструктивные размеры.

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой составлены табл. 4.2.5 и 4.2.6 (для блоков с пористостью 93-96 %); $S_{y\partial} = 90-110$ м²/м³; $L_{en} = 200-250$ мг/л).

Таблица 4.2.5

Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры с плоскостной загрузкой

Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, м ³ / (м ³ • загрузки, м сут), при высоте слоя							
	3				4			
	и среднезимней температуре сточной воды, °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

Таблица 4.2.6

Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой

БПК ₅ очи- щен- ной воды, мг/л	Нагрузка по БПК ₅ г/ (м ³ • сут), при высоте слоя за- грузки, м					
	3			4		
	среднезимней температуре сточной воды, °С					
	10-12	13-15	16-20	10-12	13-15	16-20
15	1150	1300	1550	1500	1750	2100
20	1350	1550	1850	1800	2100	2500
25	1650	1850	2200	2100	2450	2900
30	1850	2100	2500	2450	2850	3400
40	2150	2500	3000	2900	3200	4000

4.2.7. Конструирование биофильтров.

Капельные биофильтры проектируются круглыми или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Верхнее дно представляет собой колосниковую решётку и нижнее - сплошное. Высота междудонного пространства должна быть не менее 0,6 м для возможности периодического его осмотра. Дренаж биофильтров выполняется из железобетонных плит, половинок керамических труб, уложенных на бетонные опоры (см. рис. 4.2.7). Общая площадь отверстий для пропуска воды в дренажную систему должна составлять не менее 5 - 8% площади поверхности биофильтров. Во избежание заиливания лотков дренажной системы скорость движения воды в них должна быть не менее 0,6 м/с. Уклон нижнего днища к сборным лоткам принимается не менее 0,01; продольный уклон сборных лотков - не менее 0,005. Стенки биофильтров выполняются из сборного железобетона или кирпича и возвышаются над поверхностью загрузки на 0,5 м.

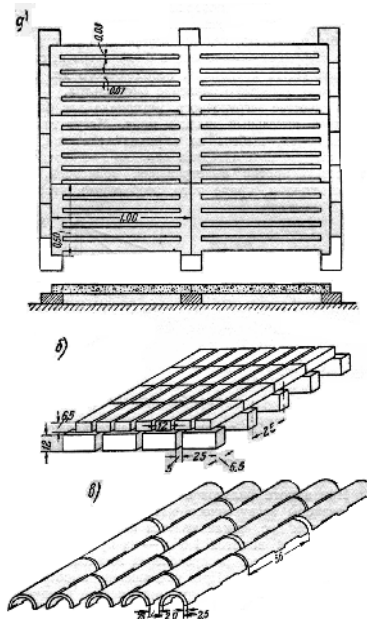


Рис. 4.2.7. Устройство дренажа биофильтров: а – железобетонные плиты; б – кирпичи; в – керамические трубы

Наилучшими природными материалами для засыпки биофильтров являются щебень, гравий и галька. Все применяемые для загрузки материалы должны удовлетворять требованиям прочности и морозостойкости. Загрузка биофильтров по высоте должна быть одинаковой крупности и только для нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м следует применять загрузку крупностью 70-100 мм. На рис. 4.2.8 показан капельный биофильтр прямоугольной формы.

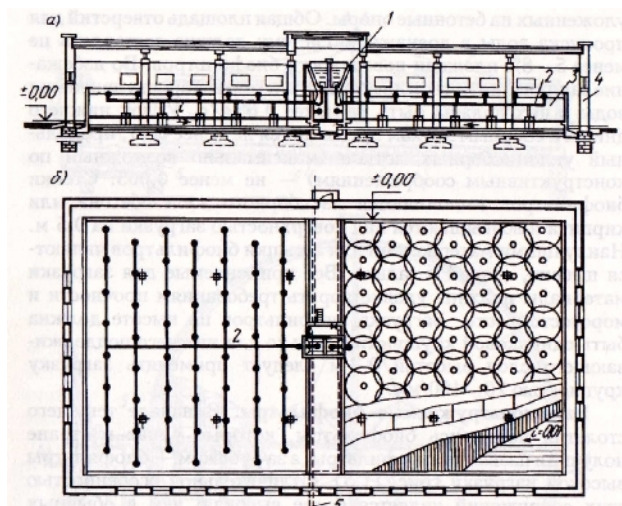


Рис. 4.2.8. Капельный биофильтр: поперечный разрез и план;

1 - дозирующие баки сточной воды; 2 - спринклеры; 3 - загрузочный материал; 4 - стены биофильтра; 5 - подача сточных вод в биофильтр

Высоконагружаемые биофильтры. Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофильтров являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее фракций и особая конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом (рис. 4.2.9).

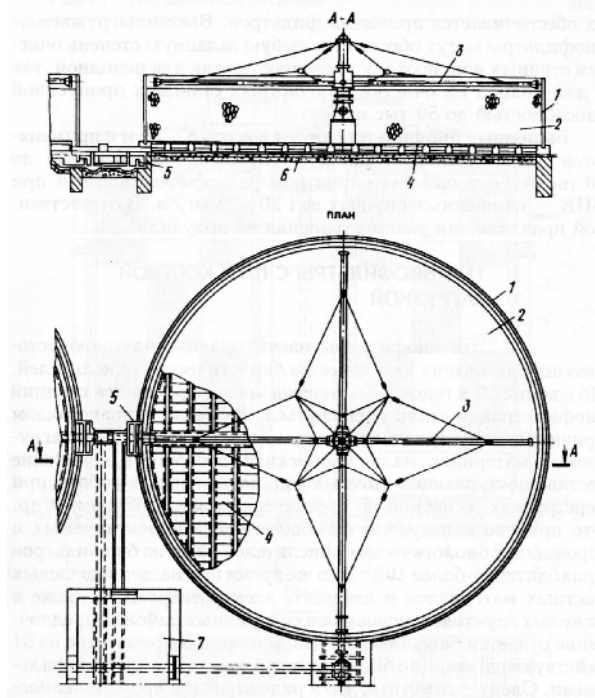


Рис. 4.29. Высоконагружаемый биофильтр: 1 - корпус; 2 - загрузка; 3 - реактивный ороситель; 4 - дренажная решетка; 5 - гидравлический затвор; 6 - сплошное днище; 7 - вентиляционная камера

В закрытое (обязательно) междудонное пространство вентилятором подается воздух. На отводных трубопроводах должны быть предусмотрены гидравлические затворы глубиной 200 мм.

Особенностями эксплуатационного характера являются необходимость орошения всей поверхности биофильтра с возможно малыми перерывами в подаче воды и поддержание повышенной нагрузки по воде на 1 м^3 поверхности фильтра (в плане). Только при этих условиях обеспечивается промывка фильтров. Высоконагружаемые биофильтры могут обеспечить любую заданную степень очистки сточных вод, поэтому применяются как для неполной, так и для полной их очистки на очистных станциях пропускной способностью до $50 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$

Биофильтры с плоскостной загрузкой могут быть круглыми, многогранными или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Эти сооружения компактны, надежны в эксплуатации, не подвержены заилению, имеют малую энергоемкость. В качестве загрузки используются блочные, засыпные и рулонные материалы из пластических масс, металла, асбестоцемента, керамики, стекла, дерева, тканей и др. Высота слоя загрузочного материала 3-8 м, пористость 70-99%, удельная площадь поверхности $60\text{-}250 \text{ м}^2/\text{м}^3$, плотность $10\text{-}250 \text{ кг/м}^3$.

Небольшой объемный вес загрузочного материала позволяет использовать при монтаже этих сооружений легкие строительные конструкции. На рис. 4.30 приведена конструкция биофильтров пропускной способностью $1400 \text{ м}^3/\text{сут.}$, в первом случае стены биофильтра выполнены из плоских асбестоцементных листов, прикрепленных к жесткому металлическому каркасу.

Рис. 4.31. Биофильтры секционные восьмигранной формы в плане с пластмассовой загрузкой производительностью 5000—10000 м³/сут: 1 - здание биофильтров; 2 - секции биофильтров; 3 - реактивный ороситель; 4 - загрузка пластмассовыми блоками; 5 - напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 6 - самотечный трубопровод неочищенной сточной воды; 7 - канал очищенной сточной воды; 8 - трубопровод очищенной сточной воды; 9 - площадка обслуживания

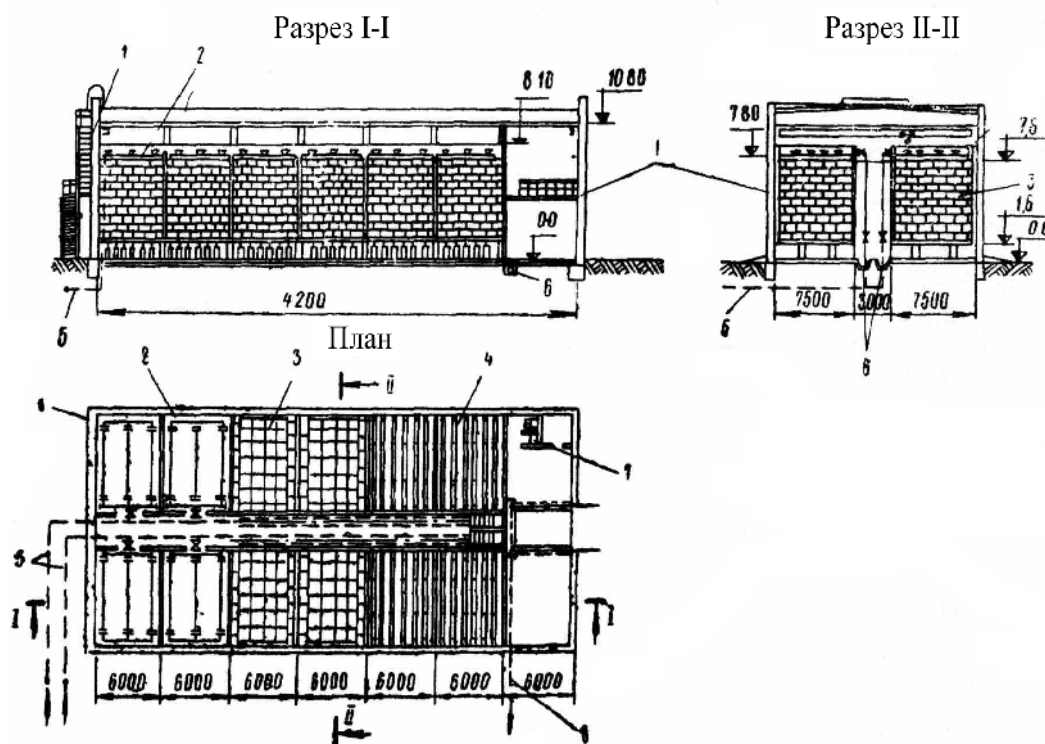


Рис. 4.32. Биофильтры секционные прямоугольной формы в плане с пластмассовой загрузкой производительностью 25000- 50000м³/сут:

1 – здание биофильтров; 2 - водораспределительная система с разбрызгивающими устройствами; 3 - загрузка с пластмассовыми блоками; 4 -установка балок под пластмассовые блоки; 5 - подача сточной воды, 6 - отвод очищенной сточной воды; 7- бытовые помещения

Биофильтры с плоскостной загрузкой могут применяться как самостоятельные сооружения биологической очистки сточных вод (на полную или неполную биологическую очистку), а также использоваться в качестве сооружений первой ступени очистки в комплексе с другими биоокислителями.

Для обеспечения нормальных условий для вентиляции биофильтра с плоскостной загрузкой в нижней его части (междудонном пространстве) устраиваются вентиляционные отверстия, суммарная площадь которых должна составлять для капельных биофильтров не менее 1% от площади поверхности сооружения, а для башенных и биофильтров с плоскостной загрузкой - не менее 7-10 %. Небольшие биофильтры следует размещать в утепленных помещениях, а биофильтры большой пропускной способности в зависимости от климатических условий можно размещать на открытом воздухе или под лёгкими купольными перекрытиями.

Биофильтры с объемной загрузкой разрабатываются прямоугольной формы в плане с размерами сторон, м: 3×3; 3×4; 9×12; 12×12; 15×15; 12×18 с высотой слоя загрузки 2,3; 3 и 4 м, либо круглой диаметром, м: 6; 12; 18; 24 и 30 с высотой слоя загрузки 2; 3 и 4 м. Биофильтры с плоскостной загрузкой имеют проектные решения на пропускную способность 200-50000 м³/сут; биофильтры имеют круглую, прямоугольную и восьмигранную форму в плане

с высотой слоя загрузки 3 - 6 м.

На рис. 4.33 и 4.34 показаны биофильтры BIOdek (Франция) с загрузочным материалом TUBEdek с плоскостными загрузочными материалами, производимой этой же фирмой.



Рис. 4.33. Биофильтры прямоугольной формы в плане с плоскостной загрузкой с лотковой системой распределения сточной воды.



Рис. 4.34. Биофильтры круглой формы в плане с плоскостной загрузкой с реактивным орошителем.

Во многих странах построены сотни установок BIOdek общей пропускной способностью свыше 1 500 000 м³/сут.

4.2.8. Комбинированные сооружения биологической очистки сточных вод.

В практике биологической очистки сточных вод, помимо биофильтров и аэротенков, находят применение комбинированные сооружения, имеющие признаки аэротенков и биофильтров. Поиск оптимальных технологических схем и их аппаратного оформления способствовал созданию нескольких направлений их решения. Это позволяет выделить такие установки в отдельный вид комбинированных сооружений и дать примерную их классификацию: погружные биофильтры; аэротенки с прикреплённой биомассой; анаэробные и аэробные биореакторы; биотенки. Наиболее широкое распространение получили погружные биофильтры.

Погружные биофильтры имеют признаки биофильтров и аэротенков. Погружной биофильтр состоит из следующих основных частей: резервуара; пространственной конструкции загрузки, обладающей развитой поверхностью и закрепленной на вращающемся горизонтальном валу, расположенном над поверхностью обрабатываемой в резервуаре сточной воды; лотков для распределения поступающей и сбора обработанной сточной воды; устройства, с помощью которого приводится во вращение горизонтальный вал. Погружные биофильтры подразделяются на: дисковые, шнековые, трубчатые. Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод получили дисковые и барабанные. Погружные биофильтры имеют ряд преимуществ по сравнению с биофильтрами и аэротенками: компактны; имеют малую энергоемкость; просты и надежны в эксплуатации; не требуют больших перепадов высот при движении воды. Погружные биофильтры выдерживают залповые поступления сточных вод, их целесообразно применять при большом коэффициенте неравномерности поступления сточных вод, использование погружных биофильтров позволяет отказаться от рециркуляции сточных вод.

Дисковые погружные биофильтры (рис. 4.35) состоят из дисков диаметром 1 - 5 м (целесообразно 2 - 3 м), собираемых в пакеты по 30 - 180 штук и закрепляемых на вращающемся горизонтальном валу на расстоянии 10 - 25 мм друг от друга. Диски выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей; их толщина составляет 1 - 10 мм. Частота вращения горизонтального вала с пакетом дисков 1 - 50 мин⁻¹ (чаще 2 - 10 мин⁻¹); степень погружения дисков в обрабатываемую сточную воду 0,3 - 0,45 диаметра.

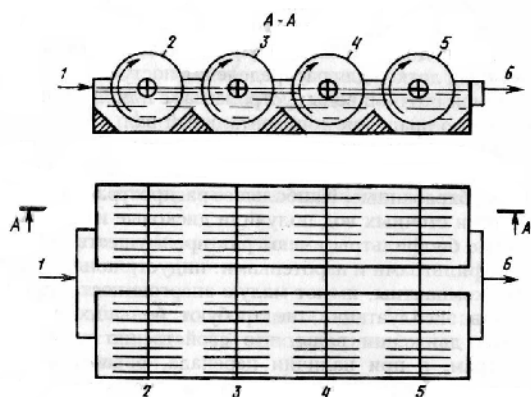


Рис. 4.35. Схема погружного дискового биофильтра: 1 - подача сточных вод; 2-5 - соответственно первая, вторая, третья и четвертая ступени погружного дискового биофильтра; 6 - выпуск обработанных сточных вод

Сточная вода подается в распределительный лоток, а затем в резервуар погружного биофильтра, где пакеты дисков постоянно вращаются с помощью электродвигателей или других устройств. На поверхности дисков закрепляются и развиваются колонии микроорганизмов, образующие биопленку. При повороте пакета дисков биопленка оказывается на воздухе, где происходит интенсивное поглощение кислорода и окисление сорбированных загрязнений. За счет вращения дисков осуществляется также процесс аэрации обрабатываемой сточной воды. Часть биопленки, включая отработавшую, отрывается от поверхности дисков и находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила.

При повороте пакета дисков биопленка оказывается на воздухе, где происходит интенсивное поглощение кислорода и окисление сорбированных загрязнений. За счет вращения дисков осуществляется также процесс аэрации обрабатываемой сточной воды. Часть биопленки, включая отработавшую, отрывается от поверхности дисков и находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила.

В зависимости от состава сточных вод и необходимой степени очистки число ступеней дисковых погружных биофильтров составляет 1 - 4 и более, эффективность их работы 50 - 98%, нагрузка по БПК_{полн} на 1 м² поверхности дисков до 200 г/(м²/сут). Время пребывания сточных вод в резервуаре 0,5 - 3 ч. Расчет дисковых погружных биофильтров сводится к определению необходимой площади поверхности дисков, их диаметра и числа, частоты вращения пакета дисков, числа ступеней, времени пребывания обрабатываемых сточных вод в резервуаре и др.

Барабанные погружные биофильтры состоят из барабанов, закрепленных на вращающемся горизонтальном валу и заполненных загрузочным материалом. Жесткий корпус барабана обтягивается сеткой или другим материалом, а внутри корпуса помещаются засыпные загрузочные элементы, плоскостные материалы, блочные секции, на поверхности которых развивается биопленка. Барабаны длиной 2 - 3 м и диаметром 2 - 2,5 м помещаются в резервуары, куда поступает обрабатываемая сточная вода; частота вращения барабана 0,5 - 5 мин⁻¹.

¹; степень погружения барабанов в обрабатываемую сточную воду 0,3 - 0,45 диаметра.

На рис. 4.36 приведён односекционный погружной барабанный биофильтр, для загрузки секций которого могут быть использованы обрезки пластмассовых труб, шаровидные и другие пористые материалы, имеющие развитую поверхность и небольшую плотность.

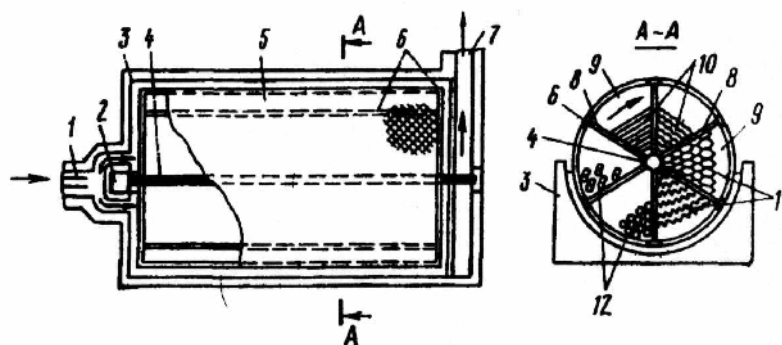


Рис. 4.36. Односекционный погружной барабанный фильтр:

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 загрузочный материал (обрезки труб, шарики и т.п.)

В качестве загрузки используются металлические, пластмассовые и асбестоцементные гофрированные, перфорированные и гладкие листы, мягкие тканевые и пленочные материалы, блочные загрузочные элементы из пластмасс, которые крепятся к каркасу барабанного биофильтра. Засыпные элементы из нарезанных пластмассовых труб, различного вида изделий из пластмасс, металла, а также волокнистые материалы заполняют сектор погружного барабанного биофильтра на 60 - 90% объема. Число секций барабанов на одном горизонтальном валу достигает 8 - 10. Обрабатываемая сточная вода из резервуара сквозь сетку поступает внутрь барабана и контактирует с загрузочным материалом, на поверхности которого закрепляется биопленка.

Погружные биофильтры могут применяться для полной и неполной биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод на сооружениях пропускной способностью от 1 м³/сут до 150 тыс.м³/сут. Оптимальная область применения - это комплексы сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 200 - 1000 м³/сут от населенных мест и промышленных объектов. Погружные биофильтры устанавливаются после сооружений предварительной механической очистки; разделение биологически очищенной сточной воды и отработавшей биомассы (биопленки и активного ила) осуществляется во вторичных отстойниках.

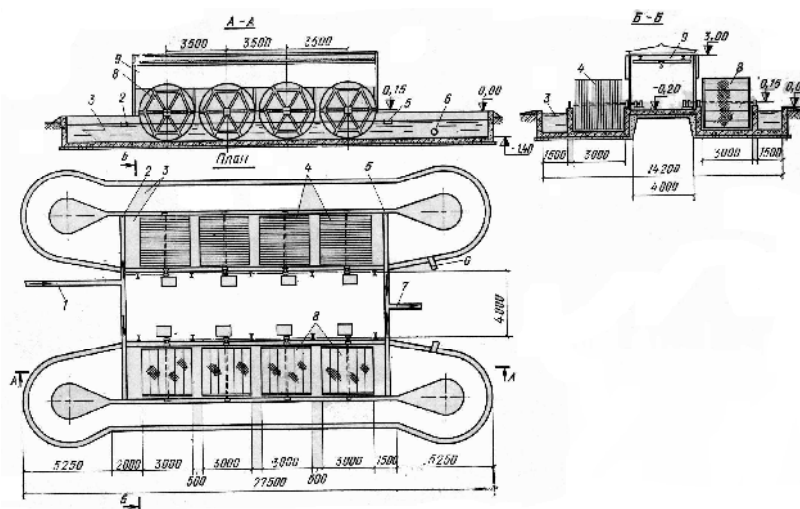


Рис. 4.35. Погружные биофильтры, совмещенные с циркуляционным окислительным каналом.

На рис. 4.36 показано устройство биотенка со стационарной загрузкой в виде блочной загрузки. Блоки загрузочного материала размещаются, как правило, над системой аэрации для обеспечения рационального прироста биомассы на загрузочном материале и частичной её регенерации. Стационарный загрузочный материал устанавливается на специальные подставки или крепится к рамам, зафиксированным на дне или стенах аэротенка.

На рис. 4.37 приведена конструкция биотенка со свободноплавающим загрузочным материалом. Для предотвращения смещения всей массы загрузки в конец коридора и выноса во вторичные отстойники по длине его устанавливаются сетки, разделяющие аэротенк на отдельные секции.

Наиболее целесообразно применять загрузочные материалы при реконструкции существующих аэротенков для повышения производительности и эффективности их работы. Количество наполнителя (носителя), по данным отечественных и зарубежных исследователей, не должно превышать 30% от общего объема аэрационной части.

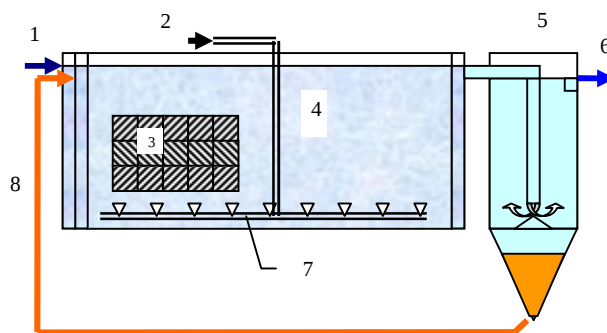


Рис. 4.36. Биотенк со стационарной загрузкой.

1 - подводящий лоток; 2 - воздухопровод; 3 – плоскостной блочный наполнитель; 4 - биотенк; 5 –вторичные отстойники; 6 – очищенная сточная вода; 7 – аэрационная система; 8 - рециркуляционный активный ил.

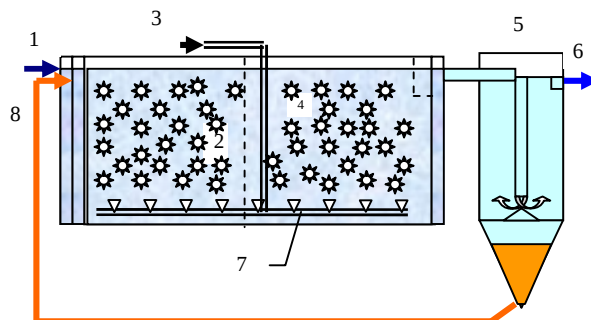


Рис. 4.37. Биотенк со свободноплавающей загрузкой:

1 - подводящий лоток; 2 - воздухопровод; 3 – свободноплавающий наполнитель; 4 - биотенк; 5 –вторичные отстойники; 6 – очищенная сточная вода; 7 – аэрационная система; 8 - рециркуляционный активный ил.

Затопленные биофильтры.

В биофильтрах этого типа загрузка располагается ниже поверхности воды. Наиболее важной характеристикой затопленного биофильтра является то, что загрузка может быть либо неподвижной, либо подвижной.

Фильтры со стационарной загрузкой.

На рис. 4.37 показано устройство такого биофильтра. Наиболее значимыми в этой схеме являются следующее: контроль толщины биопленки и подача кислорода в сточную воду.

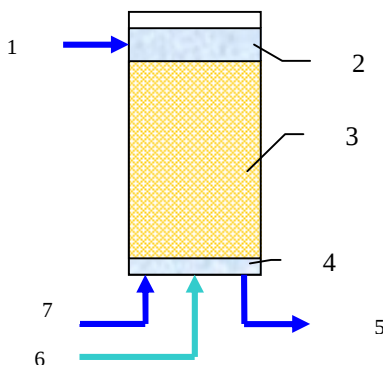


Рис. 4.37. Погружной биофильтр с неподвижной загрузкой из небольших элементов (5-15 мм) или элементов с развитой поверхностью. 1 – подача сточной воды; 2 – слой сточной воды; 3 – загрузочный материал; 4 – очищенная сточная вода; 5 – выпуск очищенной сточной воды, 6 – воздух; 7 – промывка обратным потоком.

Для решения задач, связанных с изменением толщины биопленки и возможностью кольматации биофильтра, существуют два приёма:

- использовать объемные загрузки с приемлемой поверхностью и гидравлическими характеристиками, которые предотвращают образование избыточной пленки. Но применение объемной загрузки не даёт возможность получить высокую удельную площадь поверхности, поэтому эти биореакторы требуют большего объема.
- проводить обратную промывку биофильтра при высокой скорости потока воды. Если биофильтр загружен тонкодисперсным материалом, например песком, отдельные частицы поднимаются с потоком воды, хаотично вращаются в нем и в результате очищаются от биоплёнки. В биофильтрах с неподвижной загрузкой регенерация загрузки достигается под действием потока воды, который вызывает разрушение биопленки на загрузке.

В тех сооружениях, где для удаления органического вещества необходим кислород, подавать его можно снизу, со дна биофильтра. По мере того, как пузырьки воздуха поднимаются в фильтре вверх, происходит окисление содержащихся загрязнений.

На погружной биофильтр с неподвижной загрузкой вода может подаваться как снизу, так и сверху, и при описании фильтра это часто указывается, хотя на самом деле для его функционирования совершенно не важно, подается ли поток воды сверху или снизу.

Затопленные биофильтры с подвижной загрузкой.

В то время как биофильтры с традиционной загрузкой и погружные фильтры с неподвижной загрузкой известны уже давно, биофильтры с подвижной загрузкой были разработаны только в 70-е годы. На рис. 4.38 и 4.39 представлены три различных биофильтра с подвижной загрузкой

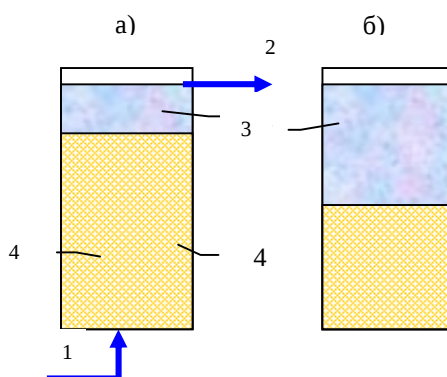


Рис. 4.38 Биофильтр с расширяющимся слоем загрузки.

1 - подача сточной воды; 2 – выпуск очищенной сточной воды; 3 – слой очищенной сточной воды; 4 – загрузочный материал.

На рис. 12.28а показан биофильтр в рабочем состоянии, а на рис. 12.28б - в нерабочем (покое). В работающем биофильтре толщина слоя увеличивается на 3-40%.

Слой загрузки, например слой песка, в биофильтре с восходящим потоком остается неподвижным до тех пор, пока градиент давления (снизу вверх) относительно невелик. При давлении в нижней части биофильтра, которое равно весу расположенного выше слоя загрузки, происходит расширение этого слоя, и контакт между отдельными частицами загрузки нарушается, и частицы становятся подвижными. *Биофильтры с расширяющимся слоем загрузки* получили широкое распространение в практике очистки сточных вод. Заполняющие тело биофильтра частицы постоянно трутся друг о друга, и биопленка остается тонкой.

Если скорость восходящего потока возрастает выше того значения, при котором происходит сдвиг частиц загрузки и она расширяется. При определённой скорости потока воды через фильтр достигается равновесие между скоростью восходящего потока и скоростью оседания частиц, которое зависит от плотности частиц. Частицы загрузки биофильтра находятся во взвешенном состоянии, и они вращаются в турбулентном восходящем потоке. Это так называемые *биофильтры с псевдоожиженным слоем* (рис. 4.38). В указанных условиях достигается очень эффективный контакт между водой и биопленкой, но автоматический контроль за толщиной биопленки на загрузочном материале обеспечить невозможно. С целью осуществления такого контроля отбирается отдельный поток подвижной смеси воды и загрузки фильтра с биомассой.

Из числа существующих в настоящее время затопленных фильтров - биофильтры с псевдоожиженным слоем являются наиболее эффективными.

В рабочем состоянии толщина слоя обычно увеличивается на 100%. Контролировать состояние биопленки можно несколькими способами. Один из них (показан на рисунке) состоит в том, что биопленка сбрасывается с частиц носителя при интенсивном перемешивании, после чего биопленка и носитель разделяются осадением.

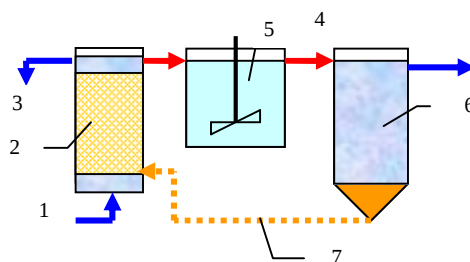


Рис. 4.39. Биофильтр с псевдоожиженным слоем загрузки.

1 – подача сточной воды; 2 – загрузочный материал; 3 - очищенная сточная вода; 4 – резервуар с перемешивающим устройством; 5 - очищенная сточная вода; 6 – отстойник; 7 – рецикл загрузочного материала.

Количество активной биомассы в биофильтре достигает 40 кг БПК/м^3 .

В биофильтрах с псевдоожиженным слоем загрузка поддерживается во взвешенном состоянии турбулентным восходящим потоком. Это взвешенное состояние может быть, конечно, достигнуто и без восходящего потока, а путем перемешивания. Сооружения, в которых осуществляется такой технологический процесс биологической очистки, получили название - *биофильтры с взвешенной биопленкой* (рис. 4.40).

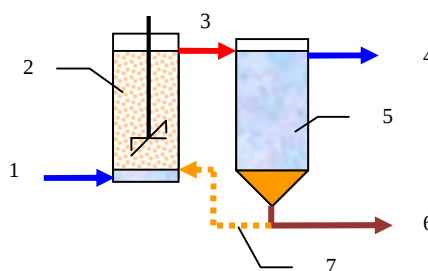


Рис. 4.40. Биофильтром с взвешенной биопленкой с перемешиванием.

1 – подача сточной воды; 2 – резервуар с загрузочным материалом и перемешивающим устройством; 3 – смесь загрузки и очищенной сточной воды; 4 – очищенная сточная вода; 5 – отстойник; 6 – осадок; 7 – рецикл загрузочного материала.

Технология очистки этого биофильтра очень близка работе аэротенков с активным илом. Различие состоит только в том, что в биофильтр с взвешенной биомассой специально помещают инертный носитель, на котором закрепляется биомасса. Разделение в таком сооружении улучшается потому, что либо загрузка «утяжеляет» каждую отдельную частицу, либо более крупные частицы с биопленкой легче удерживаются в реакторе (благодаря их более высокой скорости оседания). Однако для поддержания вещества во взвешенном состоянии в таком биофильтре потребуются большие затраты энергии на создание турбулентного потока. В то же время дело усложняется еще и тем, что добавляемая загрузка с выросшей на ней биомассой должна обрабатываться в иловой секции очистной станции.

4.2.9. Основные направления интенсификации работы сооружений биологической очистки.

Под интенсификацией понимается не только повышение окислительной мощности, но и повышение эффекта или глубины очистки сточных вод в них, равно как и всемерное сокращение затрат на обработку единицы объема очищаемой жидкости.

Методы интенсификации работы аэротенков.

Введение периодической аэрации иловых смесей в системах с биологическим удалением соединений азота методом нитрификации – денитрификации позволяет увеличить эффект удаления соединений азота и снизить эксплуатационные затраты.

Наиболее широкое распространение получили две базовые схемы работы аэротенков: схема работы по одноиловой системе и схема работы по двухиловой системе удаления азота. Одноиловая система глубокого удаления азота (рис. 4.41) предусматривает устройство денитрификатора на первой стадии очистки, аэротенка на второй последовательно работающей ступени, после которой следует вторичное отстаивание с возвратом активного ила в денитрификатор. В денитрификаторе поддерживается аноксидный режим, т.е. отсутствие в среде растворенного кислорода при наличии химически связанного кислорода в форме нитритов и нитратов. В этих целях нитрифицированная иловая смесь из аэротенка подается в денитрификатор, где все содержимое перемешивается либо механическими мешалками, либо воздухом. В денитрификаторе происходит выделение азота в атмосферу и использование высвобождающегося кислорода для удаления БПК.

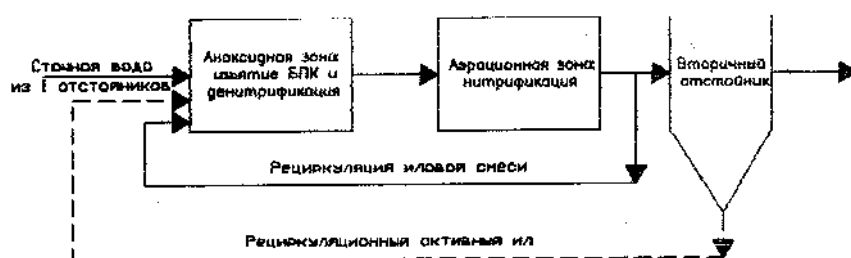


Рис. 4.41. Схема работы аэротенка с удалением азота по одноиловой системе

Вторая ступень системы нитрификатор (аэротенк), предназначена для глубокой нитрификации очищаемой сточной воды, определенная часть которой и возвращается в виде рециркуляционного потока иловой смеси в денитрификатор.

По схеме двухиловой системы глубокого удаления азота (рис. 4.42) сточная вода подается сразу в аэротенк, где осуществляется удаление загрязнений по показателю БПК и нитрификация аммонийного азота.

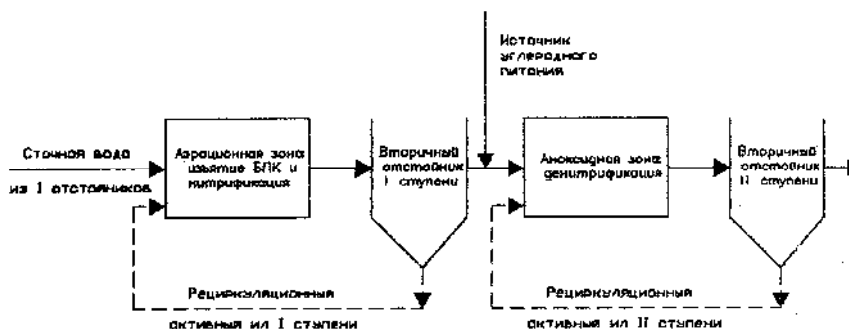


Рис. 4.42. Схема работы аэротенка с удалением азота по двухиловой системе.

Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник, откуда активный ил возвращается в аэротенк, а нитрифицированная сточная вода поступает в денитрификатор, где поддерживается анаэробный режим.

Однако, в виду того, что углеродное питание в форме БПК было изъято из воды в аэротенке, для обеспечения процессов денитрификации требуется подпитка иловой смеси в денитрификаторе углеродным питанием. Из денитрификатора иловая смесь поступает в третичный отстойник, откуда задержанный ил возвращается в денитрификатор. Главным преимуществом этой схемы является защита нитрификаторов от залповых нагрузок по органическим веществам, воздействия токсичных или ингибирующих процессы денитрификации веществ.

К преимуществам одноиловой системы следует отнести наличие только одного этапа илоотделения и то, что не требуется внешний источник дополнительного углеродного питания.

Еще одним не менее широко изучаемым и перспективным направлением повышения окислительной мощности аэрационных сооружений является повышение рабочей дозы активного ила в них. Задача по разделению иловой смеси решается несколькими путями.

1. Способ предварительного разделения иловой смеси в пределах аэротенка сетчатыми насадками, задерживающими основную массу ила в аэротенке, не допуская его выноса во вторичные отстойники.

2. Способ замены вторичного отстойника мембранной технологией отделения взвешенной иловой фракции. Характерными показателями такого процесса являются следующие: концентрация ила в аэротенке составляет 15 – 30 г/л, длительность его пребывания в аэротенке 30 – 365 суток, концентрация аммонийного азота на выходе из аэротенка, т.е. после вакуумфилтра, не превышает 0,3 мг/л.

Другим направлением повышения дозы ила в аэрационном сооружении является использование нейтральных носителей для образования на них фиксированной микрофлоры. Это означает, что в аэротенке поддерживаются два вида микробиальных культур: свободно плавающая, представляющая собой активный ил в обычном его понимании и прикрепленная к плавающему в иловой смеси. В качестве носителей микрофлоры используются как плавающие, так и фиксировано установленные насадки из различных материалов различной формы, позволяющие поднять дозу ила в аэротенке до 8 – 10 г/л без ухудшения работы вторичных отстойников. Следует отметить, что применение аэротенков с фиксированной микро-

флорой наиболее целесообразно для проведения биологической очистки в режиме глубокого удаления биогенных элементов.

Методы интенсификации работы биофильтров.

Основными методами интенсификации биофильтров являются:

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 в биофильтрах;
5. повышение ферментативной активности микроорганизмов за счёт воздействия ультразвуком.

На рис. 4.43 представлены принципиальные технологические схемы реконструкции действующих станций биофильтрации с целью интенсификации их работы и улучшения качества очистки сточных вод. На схеме А дана технологическая схема до реконструкции, схема 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.

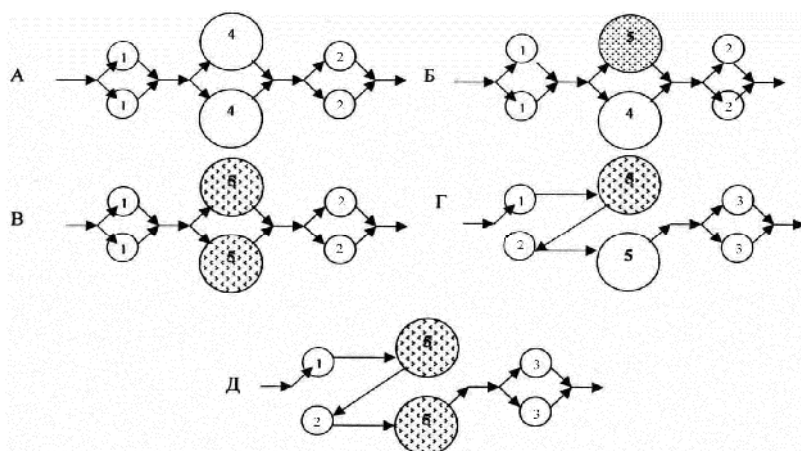


Рис. 4.43. Принципиальные схемы реконструкции станций биофильтрации:

1 – первичные отстойники; 2 – вторичные отстойники; 3 – третичные отстойники; 4 – биофильтр с объёмной загрузкой; 5 – биофильтр с плоскостной загрузкой

Схемы Г и Д предполагают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и перегрузку

объёмной загрузки на плоскостную только первой или обеих ступеней биофильтров.

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 (рис. 4.44).

Возможные варианты интенсификации работы биофильтров.

Замена загрузочного материала. 1 вариант – реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый.

Для этого необходимо увеличить высоту слоя загрузочного материала минимум до 2 м, установить низконапорные вентиляторы; подвести воздухопроводы к окнам в междудонном пространстве; смонтировать установить 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 вариант – реконструкция капельного биофильтра в биофильтр с плоскостной загрузкой (рис. 4.44).

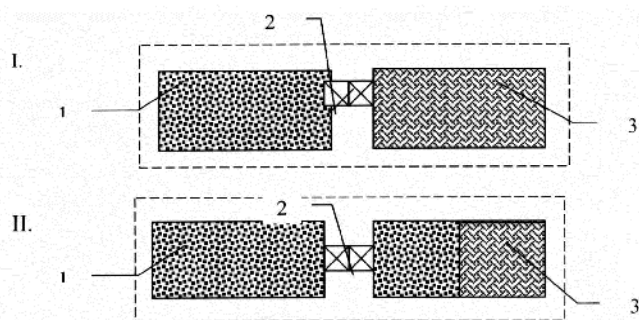


Рис. 4.44. Варианты реконструкции капельных биофильтров при замене объёмной загрузки на плоскостную:

1 – объёмная загрузка биофильтра; 2 – дозировочные баки; 3 – плоскостная загрузка

При замене объёмного загрузочного материала на плоскостной необходимо учитывать, что оптимальная высота плоскостной загрузки должна быть не менее 3-4 м. На рис. рис. 4.64 приведены возможные варианты реконструкции капельных биофильтров с заменой загрузки на плоскостную.

Во всех случаях очистка сточных вод производится по двухступенчатой технологической схеме. При этом на первой ступени используется биофильтр с плоскостной загрузкой, а на второй ступени очистки остается капельный биофильтр. Дополнительно для подачи сточной воды на вторую ступень очистки необходимо устройство насосной станции.

Реконструкции биофильтров без увеличения высоты слоя загрузки биофильтра с плоскостной загрузкой не обеспечивает улучшения качественных показателей очищенной воды, но пропускная способность биофильтров увеличится в 4-6 раз.

Изменение технологической схемы работы капельных биофильтров.

Движение сточной воды по очистным сооружениям после реконструкции осуществляется следующим образом: после песколовок 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.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров

Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применить несколько вариантов реконструкции. Из большого количества вариантов реконструкции выделим и рассмотрим два наиболее часто применяющихся решения.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров путём замены загрузочного материала на плоскостную. Для этого необходимо выполнить следующие работы: смонтировать новую водораспределительную систему; нарастить высоту стен биофильтра; заменить существующие лотки на канала большей пропускной способности; переоборудовать систему подачи сточной воды на очистку; заменить водоотводные лотки к вторичным отстойникам.

Высота ограждающих конструкций высоконагружаемых биофильтров увеличивается до 3-4 м, в качестве плоскостного загрузочного материала возможно использовать рулонный загрузочный материала из гофрированного вторичного полиэтилена.

Изменение технологической схемы работы высоконагружаемых биофильтров с заменой загрузочного материала. В данном случае рассматривается только реконструкция биофильтров с изменения технологической схемы очистки сточных вод. Проанализируем три возможных варианта реконструкции (4.45).

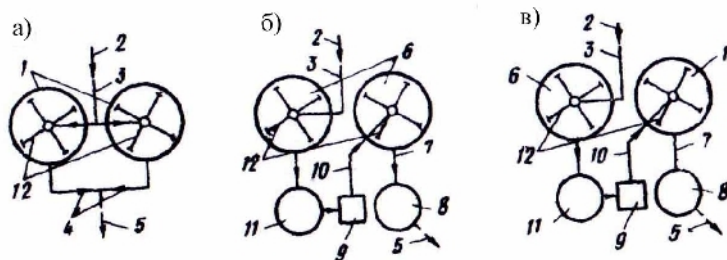


Рис. 4.45. Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции и варианты реконструкции высоконагружаемых биофильтров: а – существующая схема очистки сточных вод; б - с полной заменой загрузочного материала в аэрофильтрах; в - с заменой загрузочного материала в одном из

аэрофильтров: 1 - существующие аэрофильтры; 2 - трубопровод для подачи неочищенной сточной воды; 3 - напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 4 - трубопроводы очищенной воды после аэрофильтров; 5 - очищенная сточная вода после аэрофильтров во вторичные отстойники; 6 - биофильтры с пластмассовой загрузкой; 7 - очищенная сточная вода на третичные отстойники; 8 - третичные отстойники; 9 - насосная станция; 10 - напорный трубопровод на вторую ступень биологической очистки; 11 - вторичный отстойник; 12 - реактивные оросители; 13 - биофильтр второй ступени очистки с пластмассовой загрузкой

Первый вариант. Реконструкция обоих аэрофильтров путем замены гравийной загрузки на плоскостную (пластмассовую) с работой их по двухступенчатой технологической схеме.

Второй вариант. Реконструкция всех биофильтров с заменой загрузочного материала.

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

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

4.10. Вторичные отстойники.

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

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

Вторичные отстойники бывают вертикальными, горизонтальными и радиальными. Для очистных станций небольшой пропускной способности (до 20 000 м³/сут) применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 15 000 м³/сут) — горизонтальные и радиальные.

Вертикальные вторичные отстойники по своей конструкции подразделяются: 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.

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 прыжку в горизонтальных отстойниках используют скребковые механизмы цепного или тележечного типов. В зарубежной практике используют подвижные илососы, установленные на тележках. На средних и крупных очистных станциях наибольшее распространение получили вторичные радиальные отстойники.

Вторичные отстойники после аэротенков. 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.

При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопков активного ила в хлопья размером 1-5 мм, которые осаждаются под воздействием силы тяжести. 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 отвода осевшего ила, определяемый скоростью входа ила в сосуны илососа, уровнем стояния ила и удаленностью сосунов от сборного лотка.

Учет влияния турбулентного режима движения воды во вторичных отстойниках на конечную концентрацию взвешенных веществ производится через коэффициент объемного использования, характеризующий как конструкцию отстойника, так и основные технологические параметры его работы. Тонкослойное отстаивание может использоваться как для предварительного разделения концентрированных иловых смесей, поступающих непосредственно из аэротенков, так и для осветления надиловой воды после гравитационного отделения основной массы активного ила. Тонкослойное отстаивание осветляемой надиловой воды наиболее эффективно в сочетании с низкоградиентным перемешиванием отстаиваемой иловой смеси на всех стадиях илоразделения.

ГУП МосводоканалНИИпроект разработал типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона ($d = 18, 24, 30, 40$ и 50 м).

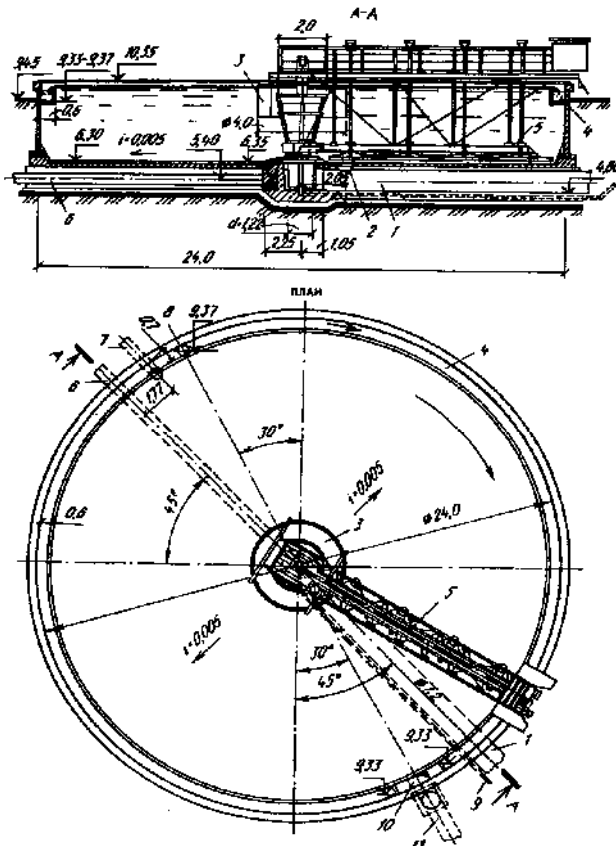


Рис. 4.46. Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона:

1 – подводящий трубопровод; 2 – люк-лаз; 3 – металлический распределительный кожух; 4 – сборный желоб; 5 – илосос; 6 – трубопровод возвратного активного ила; 7 – трубопровод опорожнения; 8 – датчики уровня ила; 9 – труба для электрокабеля; 10 – выпускная камера; 11 – отводящий трубопровод

Осветленная вода собирается через водослив сборного кольцевого лотка, откуда поступает в выпускную камеру. Активный ил, осевший на дно отстойника, удаляется самотеком под гидростатическим давлением через сосуны илососа и илопроводу в иловую камеру. Вторичные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника q_{ssa} , $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$.

$$q_{ssa} = 4,5 \cdot K_{set} \cdot H_{set}^{0,8} / (0,1 \cdot I_i \cdot a_i)^{0,5-0,01n} \cdot t, \quad (4.50)$$

где H_{set} - глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м; K_{set} - коэффициент использования объема, зависящего от типа отстойника; I_i - иловый индекс, определяемый в зависимости от нагрузки на ил в аэротенках, мг/г; a_i - доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л; a_i^a - требуемая конечная концентрация иловых частиц в осветленной биологически очищенной воде.

Определяется площадь вторичных отстойников F_{ssa} , м² (с учетом коэффициента рециркуляции)

$$F_{ssa} = q_{mid} \cdot K_{qeu} / q_{ssa}. \quad (4.51)$$

Принимается число вторичных отстойников (желательно не менее 4) и определяется их диаметр d , м (для горизонтальных отстойников длина и ширина)

$$d = \sqrt{4F_{ssa} / \pi \cdot n_{II}}. \quad (4.52)$$

Вторичные отстойники после биофильтров.

Эффективность осветления биологически очищенной воды во вторичных отстойниках определяет, как правило, конечный эффект очистки воды и эффективность работы всего комплекса станции биофильтрации.

При разработке проектов станций биофильтрации горизонтальные вторичные отстойники практически не использовались, в очень редких случаях применялись радиальные отстойники.

Оптимальное количество вторичных отстойников на очистных станциях практически любой пропускной способности должно быть от 2 до 8.

Вторичные отстойники после биофильтров рассчитывают по нагрузке воды на их поверхность q_{ssb} , м³/(м²·ч):

$$q_{ssb} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot u_0, \quad (4.53)$$

где u_0 - гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равная 1,4 мм/с; K_{set} — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от типа отстойника.

Площадь поверхности отстойников F_{ssb} , м², определяют с учетом рециркуляционного расхода

$$F_{ssb} = Q_{\text{чac}}^{\text{max}} (K_{rc} + 1) / q_{ssb} \quad (4.54)$$

где $Q_{\text{чac}}^{\text{max}}$ - максимально часовой расход сточных вод; K_{rc} — коэффициент рециркуляции.

Влажность удаляемой из отстойников биопленки принимается 96%, выгрузка осуществляется не реже 1 раза в сутки.