

РАЗДЕЛ 1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

Тема 1. Общая классификация сточных вод

1.1. Формирование состава сточных вод

В понятие «сточные воды» входят различные по происхождению, составу и физическим свойствам воды, которые использовались человеком для бытовых и технологических нужд. При этом вода получила загрязнения, и ее физико-химические свойства изменились. Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам.

По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на органические, минеральные, биологические. Органические загрязнения – это примеси растительного и животного происхождения. Минеральные загрязнения – это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д. Биологические и бактериальные загрязнения – это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные – возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

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

Вторую группу примесей составляют *вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и

гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

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

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее 10^{-8} см, что соответствует *ионной степени дисперсности*. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности, аммонийные соли и фосфаты, частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако, технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка) не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют следующие физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т. д.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- хозяйственно-бытовые;
- производственные;
- атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые

сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека, среди которых могут быть и патогенные. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека. К последним относят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли (продукт гидролиза мочевины). Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45-58%.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются: видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах, в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного

производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

В зависимости от гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели, выбирается та или иная система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети. Загрязнения хозяйственно-бытовых и производственных стоков влияют на технологию очистки воды и на экологическую ситуацию в данном районе.

Тема 2. Оценка свойств воды по данным санитарно-химического анализа

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами целый ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводит к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ. Такие показатели называются групповыми или суммарными. Например, определение органолептических показателей (запах, окраска) позволяет избежать количественного определения в воде каждого из веществ, обладающих запахом или придающих воде окраску.

Полный санитарно-химический анализ предполагает определение следующих показателей: температура, окраска, запах, прозрачность, величина рН, сухой остаток, плотный остаток и потери при прокаливании, взвешенные вещества, оседающие вещества по объему и по массе, перманганатная окисляемость, химическая потребность в кислороде (ХПК), биохимическая потребность в кислороде (БПК), азот (общий, аммонийный,

нитритный, нитратный), фосфаты, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и другие токсичные элементы, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, растворенный кислород, микробное число, бактерии группы кишечной палочки (БГКП), яйца гельминтов. Кроме перечисленных показателей, в число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

Температура — один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Поэтому температура - один из определяющих факторов процесса седиментации. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска - один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков — свидетельство присутствия производственных сточных вод.

Запах - органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20°C и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т.д. При неясно выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65°C. Иногда необходимо знать пороговое число - наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной pH. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения

биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5 - 8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды ($\text{pH} = 7,2-7,8$).

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1-3 см, а после очистки увеличивается до 15 см.

Сухой остаток характеризует загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при $t = 105^\circ\text{C}$ пробы сточной воды. После прокаливании (при $t = 600^\circ\text{C}$) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток - это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (в мг/л). Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливании плотного остатка при $t = 600^\circ\text{C}$ можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

Взвешенные вещества - показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе

очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании отстойников. Количество взвешенных веществ - один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется зольностью. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100 - 500 мг/л.

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

Под *окисляемостью* понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. Окисляемость - групповой показатель. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии — этот показатель — биохимическая потребность в кислороде — БПК. В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель KMnO_4), бихроматной (окислитель $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) и иодатной (окислитель KIO_3). Результаты определения окисляемости

независимо от вида окислителя выражают в мг/л O_2 . Бихроматную и иодатную окисляемость называют химической потребностью в кислороде или ХПК. Определяя ХПК, можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами и возможность присутствие в них промышленных сточных вод.

БПК — кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Для математического описания процесса биохимического потребления кислорода наиболее часто используют кинетическое уравнение первого порядка. Для вывода уравнения введем ряд обозначений: L_a - количество кислорода, необходимое для окисления всего органического вещества, т.е. $БПК_{полн}$ мг/л; L_t - то же, потребленное к моменту времени t , т.е. $БПК_t$, мг/л; $L_a - L_t$ - то же, остающееся в растворе к моменту времени t , мг/л. В рассматриваемом случае уравнение первого порядка имеет вид:

$$dL_t / dt = K(L_a - L_t) \quad (2.1)$$

После преобразования, интегриации и введения десятичных логарифмов уравнение будет иметь вид:

$$t = 1/k \lg(БПК_{полн}/БПК_{полн}-БПК_t) \quad (2.2)$$

где k - константа скорости потребления кислорода, для городских сточных вод в зависимости от их состава $k = 0,15-0,25$.

Для определения $БПК_{полн}$ вводят ограничение, по которому процесс биохимического потребления кислорода считается законченным, когда:

$$БПК = 0,99 БПК_{полн} \quad (2.3)$$

Следовательно, получим уравнение:

$$t = 1/k \lg(BPK_{полн}/BPK_{полн} - 0,99BPK_{полн}) \quad (2.4)$$

Величина $BPK_{полн}$ определяет расход кислорода в процессе биохимического окисления и является важнейшей технологической характеристикой для любого аэробного биоокислителя.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы - фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными – NH_4^+ и NH_3 окисленными формами NO_2^- и NO_3^- . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины - продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

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

Концентрации азота и фосфора в сточных водах - важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор - необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

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

В группу тяжелых металлов и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяжелым металлам относятся: железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к токсичным элементам, не являющимся тяжелыми металлами, - мышьяк, сурьма, бор, алюминий и т.д. Источник тяжелых металлов - производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) - органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, которые обуславливают их растворение в маслах и в воде. Примерно 75% общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионоактивных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

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

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

Санитарно-бактериологические показатели включают: определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод

микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами - источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах $10^6 - 10^8$.

Влияние сточных вод на водоем

Самоочищающая способность водоема зависит от условий смещения и разбавления сточных вод водой водоемов. Для удовлетворения санитарных требований устанавливают предельно допустимый сброс (ПДС) лимитирующих веществ в целях ограничения поступления загрязнений в водоем со сточными водами.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$\frac{qC_{ст.нр}}{ПДС} + \frac{QC_{ф}}{Фон} = \frac{C_{нр}(q + aQ)}{\text{Нормативное состояние водоема}}, \quad (1.5)$$

где q, Q – расход сточных и речных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$C_{ст.нр}, C_{ф}$ – концентрация лимитирующего вещества соответственно для нормативно-очищенной сточной воды и в реке выше места выпуска, $\text{г}/\text{м}^3$;

$C_{нр}$ – предельно допустимая концентрация в воде в зависимости от вида водопользования, $\text{г}/\text{м}^3$;

a – коэффициент смешения, доли единицы.

Коэффициент смешения a находят:

$$a = \left(1 - e^{-\alpha^3 \sqrt{L_{\phi}}}\right) / \left(1 + (Q/q)e^{-\alpha^3 \sqrt{L_{\phi}}}\right), \quad (2.6)$$

где e – основание натуральных логарифмов;

L_{ϕ} – расстояние до расчетного створа по фарватеру, м.

Значение α находят по формуле:

$$\alpha = \phi \xi \sqrt{D/q}, \quad (2.7)$$

где ϕ – коэффициент извилистости реки;

ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска (при береговом выпуске $\xi = 1$, при фарватерном – $\xi = 1,5$);

D – коэффициент турбулентной диффузии, м/с;

q - расход сточных вод, м³/с.

Коэффициент извилистости ϕ определяют по формуле:

$$\phi = L_{\phi} / L, \quad (2.8)$$

где L - длина до расчетного створа по прямой, м.

Коэффициент турбулентной диффузии (для равнинных рек) D находят по формуле:

$$D = \frac{v_{cp} \cdot H_{cp}}{200} \quad (2.9)$$

где v_{cp} - средняя скорость течения реки, м/с; H_{cp} - средняя глубина реки на участке между выпуском и расчетным створом, м.

Теоретически расстояние от выпуска сточных вод до створа полного смешения равно бесконечности, поэтому значение коэффициента a , равное 1, на практике не встречается. Для практических расчетов следует определять расстояние до створа достаточно полного смешения, для которого, $a = 0,95$; 0,9, т.е. в котором сточная вода смешивается с 95 или 90% расхода воды реки.

Взаимосвязь протяженности загрязненной струи до расчетного створа $l_{см}$ и коэффициента смешения устанавливается формулой:

$$l_{см} = \left[\frac{2,3}{\alpha} \cdot \lg \frac{aQ+q}{(1-a)q} \right]^3. \quad (2.10)$$

При определении в проточных водоемах кратности разбавления n в расчетных створах пользуются формулой:

$$n = (aQ + q) / q \quad (2.11)$$

Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него, загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Для предотвращения

нарушения технологического процесса биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, сбрасываемые воды должны удовлетворять определенным требованиям. Основные из них сводятся к следующему:

- производственные сточные воды не должны быть агрессивными по отношению к материалам водоотводящих сетей и сооружений, не должны содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;

- в производственных сточных водах не должно быть горючих примесей – бензина, нефтепродуктов, эфиров, а также растворенных газообразных веществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси или ингибировать процессы биологической очистки городских сточных вод;

- температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать 40°C;

- сбрасываемые в городскую водоотводящую сеть сточные воды не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток;

- средние значения pH не должны превышать значений 6,5-7;

- производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым им требованиям, подвергаются предварительной очистке на соответствующих локальных установках.

- Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть, представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть.

Показатель состава и свойств сточных вод	Единица измерения	Предельно допустимая концентрация (ПДК)
Взвешенные вещества (ВВ)	мг/л	500

Показатель состава и свойств сточных вод	Единица измерения	Предельно допустимая концентрация (ПДК)
Зольность ВВ	%	30
БПК _{полн.}	мг/л	500
ХПК	мг/л	800
рН		6,5-8,5
Температура	°С	40
Порог цветности		1/16
Плотный остаток	мг/л	2000
Хлориды	мг/л	350
Сульфаты	мг/л	500
Эфируулавливаемые вещества	мг/л	20
Дополнительно для г. Москвы:		
Cr ³⁺	мг/л	1
Cr ⁶⁺	мг/л	0,1
Pb	мг/л	0,1
As	мг/л	0,05
Hg	мг/л	0,005
Al	мг/л	1

Особое внимание уделяется производственным сточным водам, имеющим радиоактивные элементы. В водоотводящую сеть города не разрешается сброс таких стоков. Не разрешен также сброс биологически «жестких» поверхностно-активных веществ и СПАВ.

Условия сброса сточных вод в водоем

Многообразие количества и качества сточных вод, как производственных, так и хозяйственно-бытовых, определяет выбор системы водоотведения и схемы водоотводящих сетей, и, соответственно, методы очистки.

Санитарная характеристика водоема составляется на основании

санитарно-топографического обследования. При этом учитываются также санитарные условия водообеспечения населенных мест. На основании таких обследований составлены показатели качества воды источников водопользования. Они разделяются на три класса (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Показатели качества воды по классам при водопользовании

Определяемые показатели	Показатели качества воды по классам		
	1-й	2-й	3-й
<i>I. Подземные источники</i>			
Мутность, мг/л	1,5	1,5	10
Цветность, град.	20	20	50
Водородный показатель pH	6-9	6-9	6-9
Железо, мг/л	0,3	10	20
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Сероводород, мг/л	0	3	10
Фтор, мг/л	1,5-0,7	1,5-0,7	5
Окисляемость перманганатная, мг/л O ₂	2	5	15
Число бактерий группы кишечной палочки (БГКП), количество в 1 л	3	100	1000
<i>II. Поверхностные источники</i>			
Мутность, мг/л	20	1500	10000
Цветность, град.	35	120	200
Запах, балл	2	3	4
Водородный показатель, pH	6,5-8,5	6,5-8,5	605-8,5
Железо, мг/л	1	3	5
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Фитопланктон, мг/л	1	5	50
Клостридии, количество в 1 см ³	1000	100000	100000
Окисляемость перманганатная, мг/л O ₂	7	15	20

БПК полн., мг/л	3	5	7
Число лактозо-положительных кишечных палочек (ЛКП), количество в 1 л	1000	10000	50

По своему назначению водные источники делятся на рыбохозяйственные и хозяйственно-бытовые и культурно-бытовые.

Рыбохозяйственные объекты в свою очередь подразделяются на две категории. К первой относят объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных пород рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду. Ко второй – все водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

При выпуске очищенных сточных вод в водоем необходимо учитывать категорию водного объекта и ПДК вредных загрязнений. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами» для трёх видов водных источников.

В соответствии с правилами запрещается спуск в водоемы сточных вод, которые могут быть устранены путем перехода на безводное производство или путем повторного и оборотного использования.

Правила устанавливают нормативы качества воды водоемов по категориям водопользования: к первой категории относятся участки водоемов, используемые в качестве источника для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй – участки водоемов, используемых для спорта и отдыха населения.

Приведенные в правилах нормативы качества воды в водоемах относятся к створам, расположенным на проточных участках на 1 км выше ближайшего пункта водопользования, на непроточных участках и водохранилищах – к створам в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

Уточнение категорий водоемов или их участков производится при участии органов санитарно-эпидемиологической службы и рыбохозяйственных организаций. Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах и водотоках соответствующих категорий после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приведены в табл. 2.3.

Требования к выпуску сточных вод в море соответствуют нормативам приема очищенных сточных вод во внутренние водотоки и водоемы. Однако, имеются и некоторые особенности. Согласно «Правилам санитарной охраны прибрежных вод морей», при разработке соответствующих проектов учитываются границы района морского водопользования населения по береговой линии. В сторону моря она принимается не менее 2 км от береговой линии, далее на 10 км в обе стороны от границ района водопользования по берегу и в сторону моря. Предусматривается первый пояс санитарной охраны. В границах района водопользования сброс очищенных промышленных и бытовых сточных вод, включая судовые, запрещается.

Таблица 2.3

Допустимые изменения состава воды в водоемах и водотоках после выпуска в них очищенных сточных вод.

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
Содержание взвешенных	Допускается увеличение не более чем на			
	0,25 мг/л	0,75 мг/л	0,25 мг/л	0,75 мг/л

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод веществ	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5% (взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются).			
Пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других плавающих примесей	Не допускаются			
Запахи, привкусы и окраска	Допускаются запахи и привкусы интенсивностью не более 2 баллов (непосредственно или после хлорирования воды). Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой		Посторонние запахи, привкусы и окраска воды, влияющие на мясо рыб, не допускаются.	
	20 см	10 см		
Температура воды	Допускается повышение не более чем на 3°C по отношению к		Допускается повышение не более чем на 5°C к естественной	

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
	среднемесячной температуре самого жаркого месяца.		температуре воды (при наличии холодноводных рыб – лососевые, сиговые – общая температура воды не должна превышать 20°C летом и 5°C зимой; в остальных случаях – 28°C и 8°C).	
Водородный показатель	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5			
Минеральный состав воды	Сухой остаток должен быть не более 1000 мг/л (в том числе хлориды до 300 и сульфаты до 100 мг/л).		Не нормируется	
Наличие растворенного кислорода	Должно быть не менее 4 мг/л		Должно быть не менее 6 мг/л	Зимой подо льдом должно быть не менее 4 мг/л, летом – не менее 6

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
				мг/л
Биохимическая	Не должна превышать			

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
	3 мг/л	6 мг/л	3 мг/л (если в зимний период содержание кислорода в воде снижается для водоемов I категории до 6 мг/л, II категории до 4 мг/л, то разрешается только сброс воды, не влияющий на БПК).	
потребность в кислороде – БПК _{полн} при температуре 20°C				
Возбудители	Не допускаются (после			-

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
заболеваний	обеззараживания биологически очищенных вод коли-индекс не должен превышать 1000 при содержании остаточного хлора 1,5 мг/л).			
Токсичные вещества	Не допускаются в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное воздействие на живые организмы.			

Спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в хозяйственно-бытовую систему водоотведения регламентируется «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений».

Для неидентифицированной смеси радиоактивных веществ, содержащих α -, β - и γ -излучения, ПДК составляет $3 \cdot 10^{-11}$ кюри/л.

Радиоизотопы являются биологически-активными в микроколичествах. Они способны избирательно накапливаться на различных субстратах животного и растительного происхождения. Поэтому запрещается спуск сточных вод, содержащих радиоактивные элементы, в водоемы, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы. Спуск сточных вод в непроточные водоемы, моря или водохранилища в последнее время стал чаще встречаться в санитарной практике. Этот вопрос недостаточно изучен в отношении разбавления и самоочищения и поэтому

для возможности выпуска сточных вод в такие водоемы необходимо научное обоснование условий спуска сточных вод.

Условия спуска сточных вод в водоемы, изложенные в «Правилах» распространяются на все объекты водоотведения, независимо от их ведомственной принадлежности, при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора и рыбоохраны.

Определение необходимой степени очистки сточных вод

Технологические расчеты необходимой степени очистки сточных вод базируются на уравнении материального баланса (см. ф-лу 1.5).

Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ m в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению (в соответствии с санитарными правилами):

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p) \quad (2.12)$$

Откуда

$$m = p(aQ/q + 1) + b \quad (2.13)$$

где b – содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м³; p – допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м³; Q, q – расходы соответственно речных и сточных вод, м³/сут.

Необходимую степень очистки по взвешенным веществам, в %, определяют по формуле:

$$D_e = 100 (C - m)/C \quad (2.14)$$

где C – количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м³.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме, их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с – в водохранилище. Если в сточной воде концентрация

взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащей токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации. При наличии в воде веществ, потребляющих большое количество растворенного в воде водоема кислорода, возможность их сброса устанавливается специальным расчетом – по потреблению растворенного кислорода.

Определение необходимой степени очистки по БПК_{полн.} При расчете учитывается снижение БПК воды за счет разбавления и биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ в летний период.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной вод в расчетной точке (без учета реаэрации) выражается уравнением:

$$qL_{cm} \cdot 10^{-k_{cm} \cdot t} + aQL_p \cdot 10^{-k_p \cdot t} = (q + aQ)L_{np.\partial} \quad (2.16)$$

где L_{cm} – БПК_{полн.} сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м³; L_p – БПК_{полн.} речной воды до места выпуска сточных вод, г/м³; $L_{np.\partial}$ – предельно допустимая БПК_{полн.} смеси речной и сточной воды в расчетном створе, г/м³; k_{cm} и k_p – константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой; t – продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут.

Отсюда

$$L_{cm} = [aQ/(q \cdot 10^{-k_{cm} \cdot t})] \cdot (L_{np.\partial} - L_p \cdot 10^{-k_p \cdot t}) + L_{np.\partial} / 10^{-k_{cm} \cdot t} \quad (2.17)$$

Необходимая степень очистки по БПК D_B , %, определяется по формуле

$$D_B = 100(L_a - L_{cm})/L_a \quad (2.18)$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному кислороду в воде водоема. Допустимую максимальную величину БПК

спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования). Расчеты производятся для величины БПК_{полн.}. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периода. В качестве расчетного принимается наиболее неблагоприятный.

Окисление органических веществ в водоеме происходит за счет растворенного кислорода и реэрации. Кроме того, в нем участвует кислород фотосинтеза. Наименьшее содержание кислорода в воде после спуска сточных вод будет наблюдаться в критической точке (рис. 2.1).

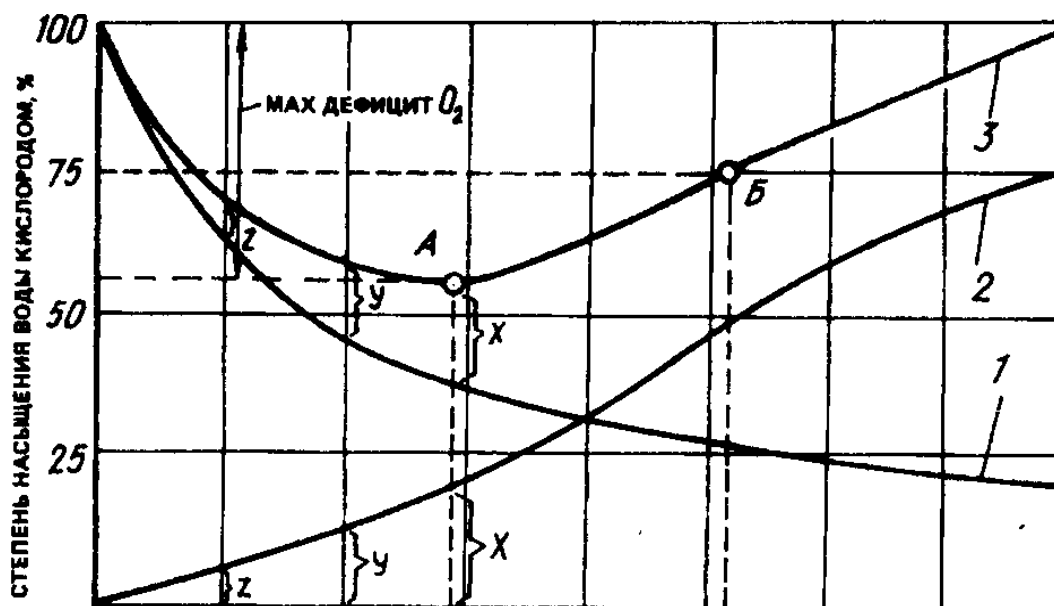


Рис. 2.1. Схема изменения кислородного баланса: 1 – степень потребления кислорода без реэрации; 2 – процесс реэрации; 3 – процесс реэрации; А – критическая точка максимального дефицита кислорода; Б – точка максимальной скорости восстановления кислорода.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают, что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем. Это условие выражено уравнением:

$$aQO_p - (aQL_p + qL_{cm}) \cdot 0,4 = (aQ + q) \cdot 4 \quad (2.19)$$

где O_p – содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м³;

aQ – расчетный расход речной воды м³/с, участвующий в смешении;

q – расход сточных вод, м³/с;

L_p и L_{cm} – БПК_{полн.} соответственно речной и сточной воды, г/м³;

0,4 – коэффициент для пересчета БПК_{полн.} в двухсуточное;

4 – наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м³.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного кислорода должен быть израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды. В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии будет равна

$$L_{cm} = (2,5aQ/q) \cdot (O_p - 0,4L_p - 4) - 10 \quad (2.20)$$

Второй способ расчета позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реаэрацию. При расчете кислородного баланса по этому способу, кроме указанных выше величин, учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды в реке в расчетный период, константы скорости биохимического поглощения кислорода и скорости поверхностной реаэрации. Расчет кислородного режима будет более точным в том случае, если все указанные величины определяются прямым путем. В этом случае в водоеме создается более напряженный кислородный режим, уточняется критическое время от начала процесса, когда дефицит кислорода достигает максимума. При этом величина L_a является средней и устанавливается по формуле:

$$L_a = (L_p a Q + L_{cm} q) / (a Q + q) \quad (2.21)$$

где L_a – БПК_{полн.} в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л.

Определение необходимой степени очистки по температуре воды водоема. Расчет производится в соответствии с санитарными требованиями, ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению

$$T_{cm} = (a Q / q + 1) / T_d + T_p \quad (2.22)$$

где T_{cm} – температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования;

T_p – максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время;

T_d – допустимое повышение (не более чем на 3°C) температуры воды водоема.

Определение необходимой степени разбавления по запаху, окраске, и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнение величины разбавления, которое возможно у расчетного створа. Это необходимо для того, чтобы решить вопрос о необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед их спуском в водоем.

Определение необходимой степени очистки по изменению активной реакции воды. При решении вопроса о спуске кислых или щелочных сточных вод необходимо учитывать нейтрализующую способность водоема. Вода водоемов содержит гидрокарбонаты кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, обуславливающие ее бикарбонатную жесткость. Кислоты, поступающие в водоем с производственными сточными водами, взаимодействуют с

гидрокарбонатами. При этом их содержание в воде уменьшается, а концентрация свободной угольной кислоты увеличивается.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому показателям вредности, пользуются уравнением материального баланса (4.5). При этом установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) на данные вещества и показатели. Полученное по этой формуле значение $C_{ст.}$ характеризует концентрацию загрязнения сточных вод, которая должна быть достигнута в процессе очистки воды. Эти расчеты позволяют определить необходимую степень очистки сточных вод, разработать технологическую схему процесса обезвреживания и установить предельно допустимый сброс (ПДС) загрязнений при спуске сточных вод в водоем.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ, ДООЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Тема 3. Механическая очистка сточных вод

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, физико-химические и биохимические. В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке. Если по условиям сброса сточных вод в водоем, требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки. В соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» сточные воды после очистки перед сбросом в водоем подвергают обеззараживанию с целью уничтожения патогенных микроорганизмов.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. **Песколовки** служат для выделения примесей минерального состава, главным образом, песка. **Отстойники** задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Сооружения механической очистки сточных вод являются, предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удается задержать до 60% нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод, с учетом

технико-экономических показателей, используют весьма редко. Эти методы, в основном, применяют для очистки производственных сточных вод.

К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся: реагентная очистка, сорбция, экстракция, эвапорация, дегазация, ионный обмен, озонирование, электрофлотация, хлорирование, электродиализ и др.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях - в аэротенках и биофильтрах.

Глубокая очистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, величину показателей БПК, ХПК и др.

При глубокой очистке сточных вод, главным образом, от взвешенных веществ используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота и фосфора может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водоем. Цель дезинфекции – уничтожение патогенных микроорганизмов, содержащихся в сточной воде. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции путем введения в воду

газообразного хлора. Возможно обеззараживание сточных вод озоном, используются бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессах очистки, заключается в снижении их влажности и уменьшении объема, в процессе обработки осадки обеззараживаются.

Загрязнения, задерживаемые решетками, вывозят с территорий станций очистки, либо дробятся и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовков обезвоживается на песковых площадках и также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах. Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляются в метантенки - герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков может применяться метод анаэробной стабилизации. Дальнейшее снижение влажности осадков может достигаться в аппаратах механического действия - на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах. Иловые площадки устраиваются для обезвоживания в естественных условиях сброженного в метантенках осадка.

Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляет собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема, расчета необходимой степени очистки, рельефа местности, характера грунтов, энергетических затрат и др.

Расчет необходимой степени очистки показывает, какой эффект задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях. Возможен вариант, что необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки. Такие сооружения могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих

водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. м³/сут.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по БПК₅ до 15-20 мг/л. В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10-20 тыс. м³/сут, аэротенки - при расходах от 50 тыс. до 2-3 млн. м³/сут.

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

Технология обработки осадков, образующихся в процессах очистки, определяется в зависимости от их свойств, объемов, наличия площадей.

Технологические схемы очистки сточных вод

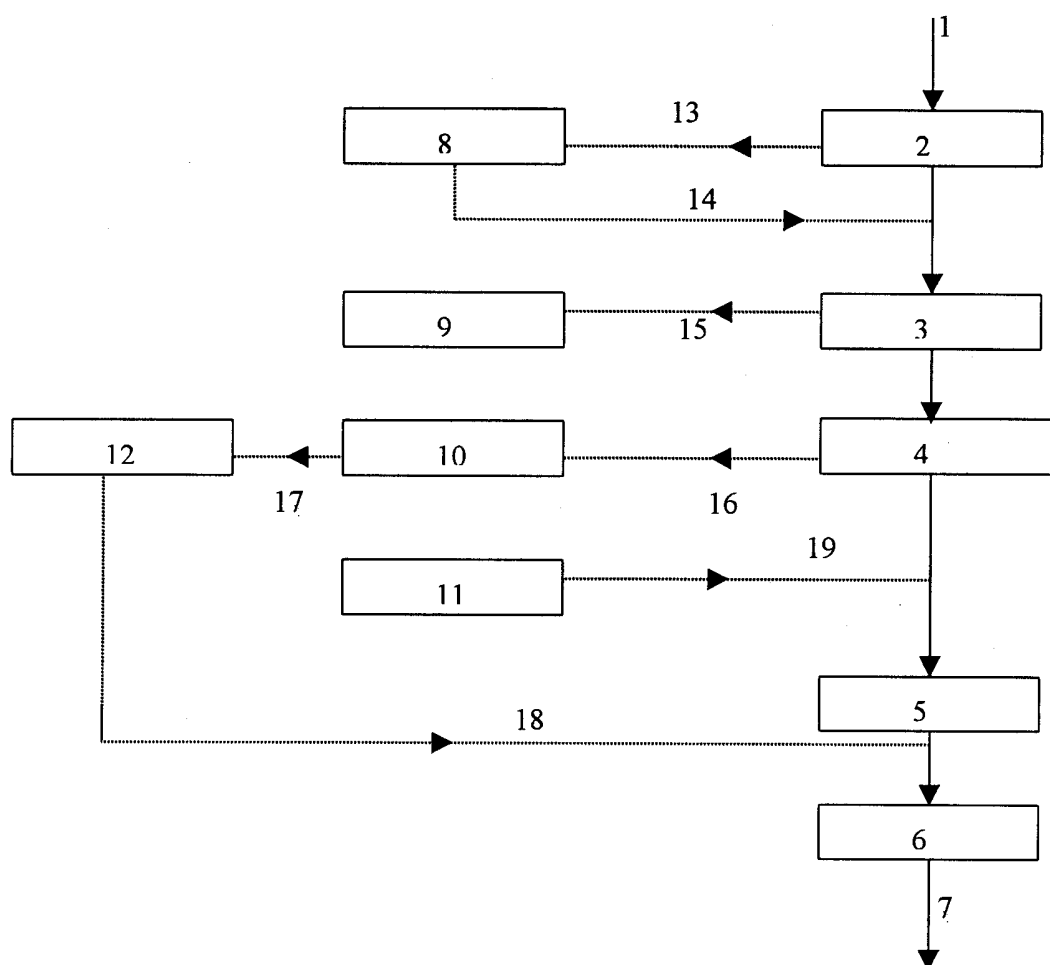


Рис. 3.1. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод: 1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – отстойники; 5 – смесители; 6 – контактный резервуар; 7 – выпуск; 8 – дробилки; 9 – песковые площадки; 10 – метантенки; 11 – хлораторная; 12 – иловые площадки; 13 – отбросы; 14 – пульпа; 15 – песчаная пульпа; 16 – сырой осадок; 17 – сброженный осадок; 18 – дренажная вода; 19 – хлорная вода

Если при расчете необходимой степени очистки сточных вод концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 40-50%, а величина показателя БПК_{полн} - на 20-30%, то можно ограничиться механической очисткой. Состав сооружений принимается по схеме, приведенной на рис. 3.1. Расход сточных вод при такой схеме составляет не более 10 тыс. м³/сут.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед или за решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовок перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактным резервуаром.

При больших расходах сточных вод – от 50 тыс. м³/сут до 2-3 млн. м³/сут и более применяется технологическая схема, приведенная на рис. 3.2. Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки. Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк должен поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждается активный ил и основная его масса

возвращается в аэротенк. Очищенная сточная вода обеззараживается в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения.

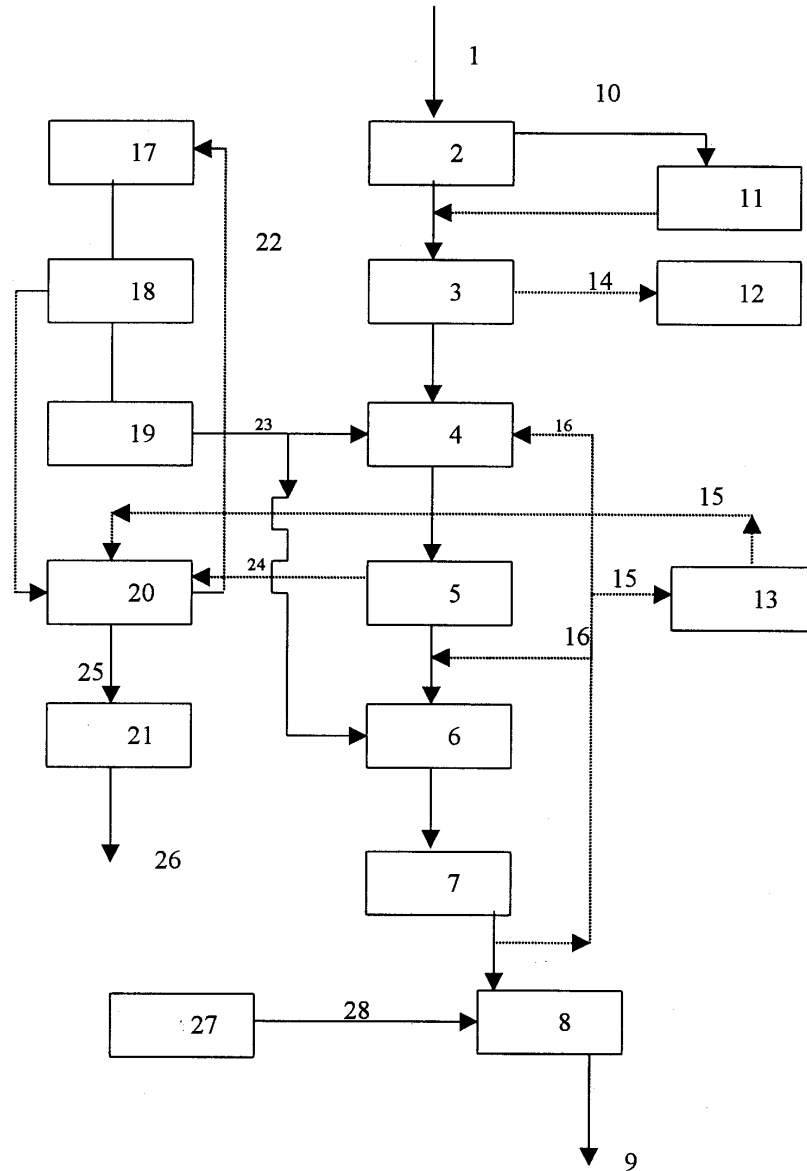


Рис. 3.2. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках: 1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – преаэраторы; 5 – первичные отстойники; 6 – аэротенки; 7 – вторичные отстойники; 8 – контактный резервуар; 9 – выпуск; 10 – отбросы; 11 – дробилки; 12 – песковые площадки; 13 – илоуплотнители; 14 – песок; 15 – избыточный активный ил; 16 – циркуляционный активный ил; 17 – газгольдеры; 18 – котельная; 19 – машинное здание; 20 – метантеки; 21 – цех механического обезвоживания сброженного

осадка; 22 – газ; 23 – сжатый воздух; 24 – сырой осадок; 25 – сброженный осадок; 26 – на удобрение; 27 – хлораторная установка; 28 – хлорная вода

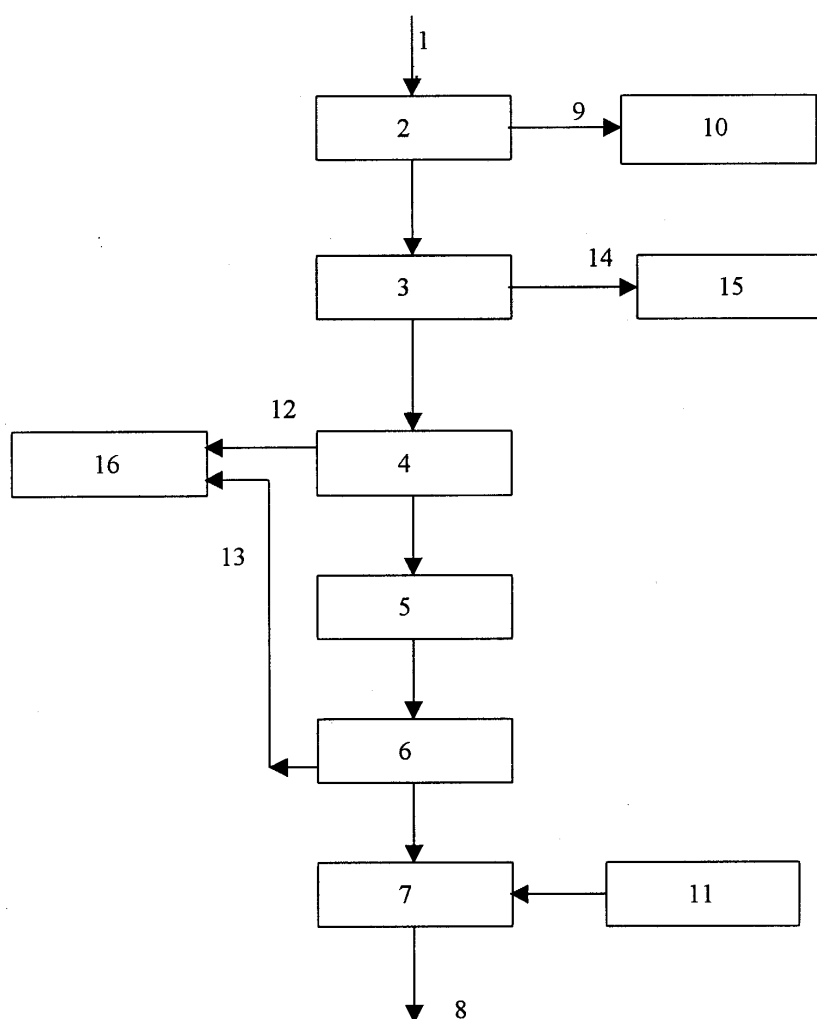


Рис. 3.3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах: 1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – первичные отстойники; 5 – биофильтры; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактный резервуар; 8 – выпуск; 9 – отбросы; 10 – дробилки; 11 – хлораторная установка; 12 – осадок из первичных отстойников; 13 – биопленка из вторичных отстойников; 14 – песок; 15 – бункер песка; 16 – иловые площадки

На рис. 3.3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10- 20 тыс. м³/сут. После сооружений механической очистки вода поступает на биофильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (биопленка), выносимая водой из биофильтров, далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

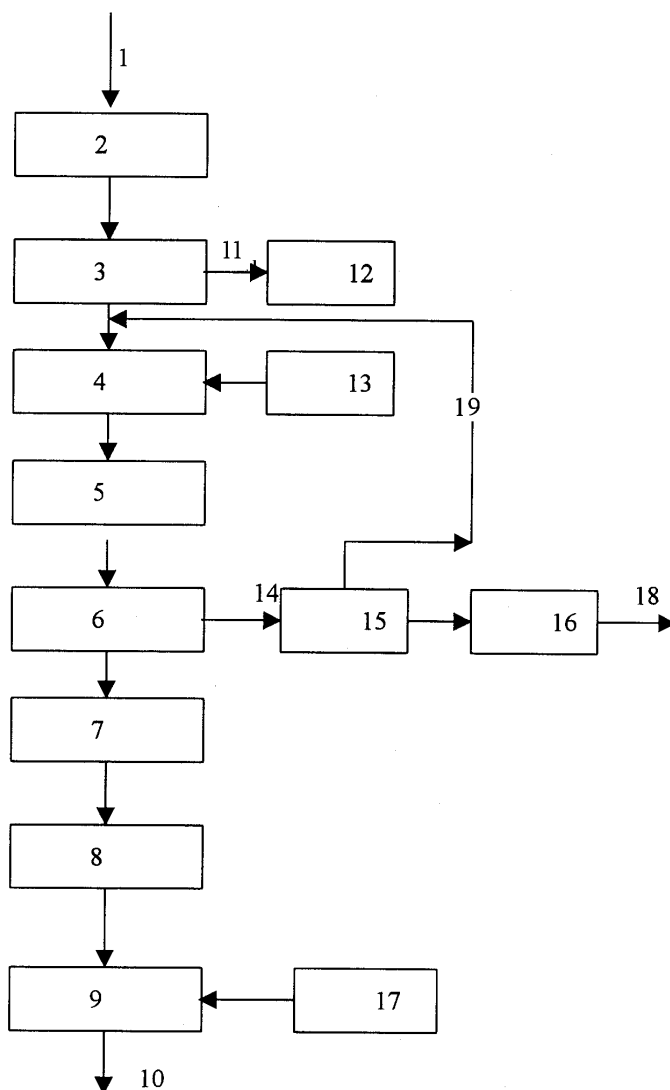


Рис. 3.4. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод: 1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – смеситель; 5 – камера хлопьеобразования; 6 – горизонтальные отстойники; 7 – барабанные сетки; 8 – фильтры; 9 – контактный резервуар; 10 – выпуск в водоем; 11 – песок; 12 – бункер песка; 13 – приготовление и дозирование реагентов; 14 – осадок; 15 – осадкоуплотнители; 16 – центрифуги; 17 – хлораторная; 18 – илам; 19 – отстоянная вода

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов - 10-20 тыс. м³/сут. На рис. 3.4 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда подаются растворы реагентов - минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от

взвешенных веществ используются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходящим потоком воды. Обеззараженная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах.

Приведенные технологические схемы широко распространены как в отечественной, так и зарубежной практике, при этом имеются станции, работающие измененным схемам.

Технологические схемы очистки производственных сточных вод могут решаться при использовании самых разнообразных методов очистки, включая физико-химические методы, биологический метод и т.д. Это зависит от специфики загрязняющих сточные воды веществ, их концентрации и ПДК сброса в городскую канализацию.

Тема 4. Сооружения механической очистки

Решетки

Содержащиеся в сточных водах крупноразмерные (более 1 см) отбросы, являющиеся отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, представляют собой остатки пищи, упаковочные материалы, бумагу, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные и волокнистые материалы. В процессе транспортирования по водоотводящим сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры. Образующийся на поверхности отбросов адгезионный слой способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц. Таким образом, формируются многокомпонентные крупноразмерные органо-минеральные составляющие отбросов, осредненная плотность которых близка к плотности воды, что облегчает последующий пронос песка через песколовки на крупноразмерных загрязнениях, проскакивающих через решетки.

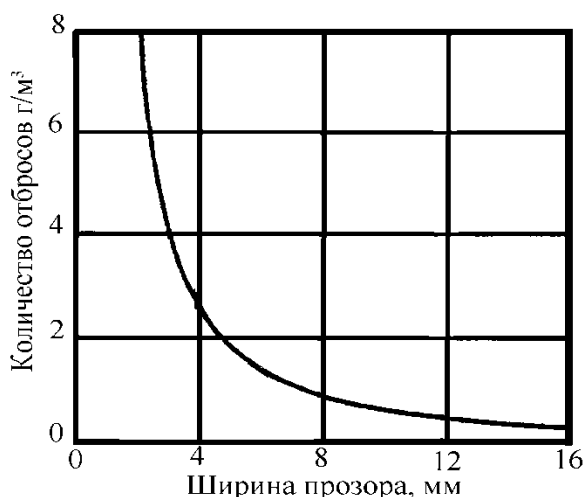


Рис. 4.1. Зависимость массы задержанных отбросов от ширины прозоров решетки

Песок, проносимый на крупноразмерных органических загрязнениях через песколовки, выпадает в осадок в первичных отстойниках, что затрудняет выгрузку осевшего осадка, его перекачку по илопроводам и выгрузку сброженного осадка из метантенков. Кроме того, легкие плавающие отбросы, проходя через отстойники, осложняют работу сооружений доочистки или выносятся с очищенными водами в водоемы, что недопустимо. Таким образом, эффективное удаление крупноразмерных загрязнений из сточных вод при их прохождении через решетки позволит обеспечить нормальную эксплуатацию песколовок, первичных отстойников, метантенков и трубопроводов подачи осадков на метантенки, а также повысить качество очистки стоков.

Вместе с тем дать прямую количественную оценку концентрации крупноразмерных загрязнений в сточной воде весьма затруднительно, так как практически невозможно отобрать пробы сточной воды с содержанием крупных отбросов, равных их средневзвешенной концентрации в общем, объеме сточных вод. Поэтому о содержании крупноразмерных загрязнений в сточных водах судят косвенным методом по количеству отбросов, задержанных на решетках с различной шириной прозоров (рис. 4.1).

Количество вносимых в сточную воду от 1 жителя крупноразмерных загрязнений, по данным, МГП «Мосводоканал», составляет порядка 20 г/чел

сут.

Решетки являются первым элементом всех технологических схем очистки сточных вод. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками. О классификации решеток в зависимости от их конструктивного решения можно судить по данным, приведенным в табл.4.1.

В большинстве конструкций решетки выполняют из расположенных параллельно друг другу стальных стержней различного сечения, закрепленных в раме для обеспечения их жесткости. Загрязнения, задерживаемые на стержнях при процеживании сточной воды, снимают механическими граблями, которые могут быть расположены перед или после стержней. На рис. 3.2 приведена схема зарубежной решетки с тонкими стержнями из нержавеющей стали.

Таблица 4.1

Характеристика решеток и сит

Параметр	Тип решетки (сита)*						
	МГ	РМН	RS-16	RS-35	РГД	РСФ-01	СЗС
Ширина решетки, мм	2100	2100	1200	1900	1200	1455	3000
Ширина фильтрующей части, мм	810	728; 810	850	1500	950	950	2560
Высота от дна, мм	4500	4500	3300	3500	2500	3252	3000
Длина, мм	2600	2660	1800	1800	1800	1480	6680
Высота выгрузки от пола, мм	900	900	450	450	1500	2070	800
Максимальная глубина канала, мм	3000	3000	1000	3000	1000	1000	4200
Ширина прозоров,	16; 12	10; 6	5	3	10	4	1,4

Параметр	Тип решетки (сита)*						
	МГ	РМН	RS-16	RS-35	РГД	РСФ-01	СЗС
мм							
Толщина фильтрующих пластин, мм	10	10	3	3	10	3	
Масса, кг	4500	3750	900	4300	2100	2400	
Максимальный уровень жидкости перед решеткой, мм	2000	2000	600	2000	600	600	3000
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	0,75	1,1	4.0	0,85	1,5	1,5

* МГ- механические грабли,

РМН - решетки механизированные наклонные,

RS - решетка ступенчатая механическая фирмы “MEVA”,

РДГ - решетка дуговая гидравлическая,

РСФ-01 - решетка ступенчатая механическая,

СЗС - плоское щелевое сито

Клиновидное сечение стержней имеет размеры 4х10 мм. Стержни жестко закреплены в придонной части канала и свободны сверху. Установленные на бесконечном гибком приводе грабли снимают загрязнения со стержней и сбрасывают их на транспортер, расположенный за решетками. Кроме транспортеров применяют также спиральные шнеки и системы гидротранспорта отбросов. Решетки выпускаются с шириной прозоров от 1 до 50 мм и рабочей шириной от 338 до 1200 мм.

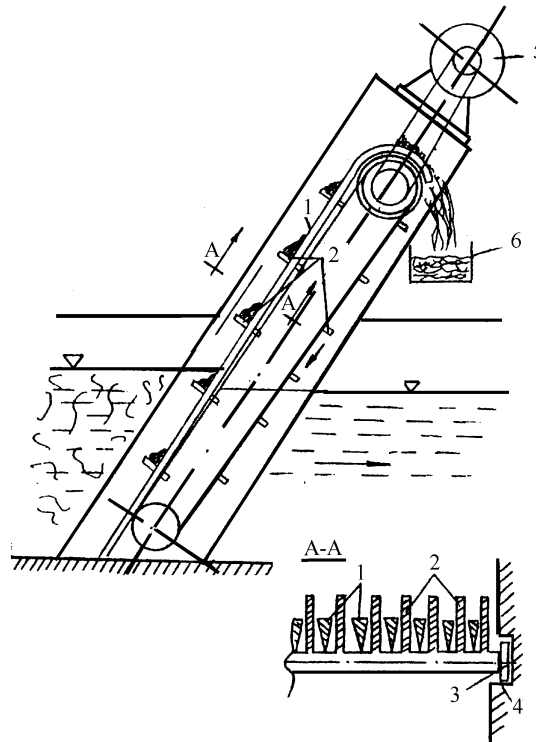


Рис. 4.2. Схема решетки фирмы «Джоунс энд Аттвуд» (Великобритания): 1 - профиль стержней; 2 - грабли; 3 - опора грабель; 4 - направляющая опоры грабель; 5 - двигатель; 6 - транспортер

Размер решеток определяется из условия обеспечения в прозорах скорости движения сточной воды $V_p = 0,8 - 1,0$ м/с при максимальном притоке на очистные сооружения. При скорости более 1,0 м/с уловленные загрязнения продавливаются через решетки. При скорости менее 0,8 м/с в уширенной части канала перед решеткой начинают выпадать в осадок крупные фракции песка и возникает необходимость их удаления.

Для решеток с прозорами шириной b , м, справедливо соотношение:

$$q = \omega \cdot V_p = b \cdot h \cdot n \cdot V_p, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.1.)$$

где q - максимальный расход сточных вод; ω - площадь живого сечения прозоров всей решетки, м^2 ; h - глубина воды перед решеткой, м; n - число прозоров.

Количество прозоров в решетках, необходимых для пропуска поступающих сточных вод, составит:

$$n = q \cdot K_{cm} / b \cdot h \cdot V_p \quad (4.2)$$

где $K_{ст} = 1,05 - 1,1$ – коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями.

Общая ширина решеток равна:

$$B = S(n-1) + b \cdot n, \text{ м} \quad (4.3)$$

где S – толщина стержней.

Исходя из общей ширины решеток, подбирают необходимое количество рабочих решеток. Дополнительно устанавливают 1-2 резервные решетки и предусматривают устройство обводной линии для пропуска воды в случае аварийного засора решеток. Решетки размещают в отдельном отапливаемом помещении ($t_{расч.} = 16^\circ\text{C}$) с кратностью обмена воздуха 5. Между решетками для их обслуживания предусматривают проходы не менее 1,2 м. Пол здания располагают не менее чем на 0,5 м выше расчетного уровня воды в канале.

Низкая технологическая эффективность ранее широко распространенных решеток МГ вызвала необходимость организации на предприятиях МГП «Мосводоканала» собственного производства решеток типа РМН (рис. 3.3, прозоры 6 мм) с постепенной их установкой вместо решеток МГ, как всех станциях аэрации предприятия. В результате замены решеток объемы задержанных загрязнений увеличились в 5-6 раз. Однако внедрение решеток типа РМН не позволило полностью выделить из сточных вод все грубодисперсные примеси.

Работа по совершенствованию существующих технологических схем очистки была продолжена по двум основным направлениям:

- разработка и внедрение сит для фильтрации очищенных сточных вод, в частности, направляемых на доочистку на фильтрах;
- внедрение процеживающего оборудования.

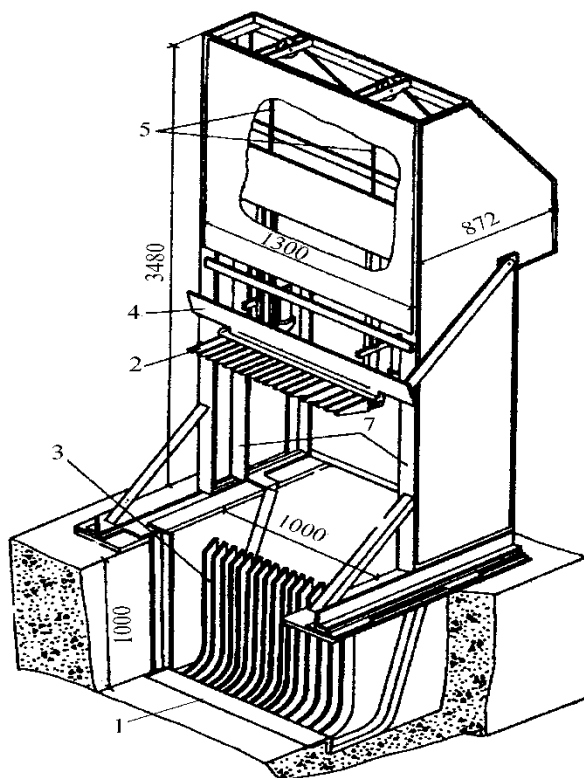


Рис. 4.3. Решетки с прозорами бмм (продольный разрез): 1 - подводящий канал; 2 - грабли; 3 - стержни решетки; 4 – сбрасыватель; 5 - канат

Процеживание очищенной сточной воды осуществлялось с помощью единственного выпускавшегося промышленностью аппарата для процеживания - барабанных сеток БСБЗх4,6, установленных перед фильтрами доочистки. Несмотря на проведенные усовершенствования, барабанные сетки обладали серьезными недостатками, к основным из которых можно отнести: невозможность выделения задерживаемых примесей, удаляемых с промывной водой, невысокая производительность, коррозия конструкций. Данный агрегат (рис. 3.4), состоит из рамы (2), в которую вмонтирован процеживающий элемент - плоская щелевая сетка сборной конструкции с прозорами 1,4 мм (3), и механизма регенерации сетки, состоящего из плоских скребков, закрепленных на 2-х пластинчатых бесконечных цепях (1), приводимых в движение мотор-редуктором. Задержанный на сетке мусор непрерывно снимается скребками и сбрасывается в сборный контейнер.

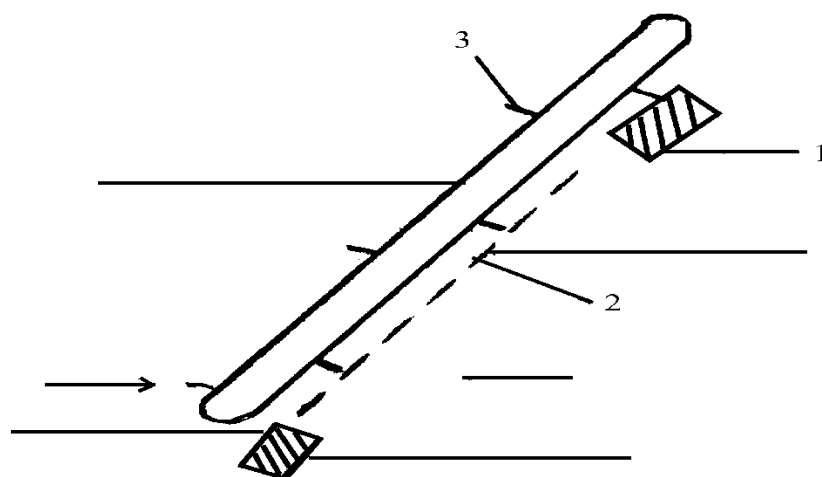


Рис. 4.4. Механизированные щелевидные сита

Результаты применения механизированных щелевидных сит показали, что производительность плоского щелевого сита (333 тыс.м³/сут) в три раза превосходит производительность барабанной сетки (110 тыс.м³/сут), а при работе на свободный излив (без подпора со стороны фильтров) производительность сита может быть более 400 тыс.м³/сут, и потери напора на плоском сите значительно меньше, чем на барабанной сетке. Регенерация плоской сетки скребками происходит удовлетворительно: как тыльная сторона сетки, так и оставались чистыми, засорений и обрастания перемычек волокнистыми материалами не происходило. В таблице 4.2. приведены основные характеристики щелевидных сит.

Таблица 4.2.

Характеристика щелевого сита

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
Производительность сита:		
- средняя	тыс. м ³ /сут.	333
- максимальная	тыс. м ³ /сут.	420
Потери напора:		
- средние	мм	36
- максимальные	мм	92
- минимальные	мм	20

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
Удельное шламоудержание (по сухому веществу):		
- среднее	г/м ³	0,036
- максимальное	г/м ³	0,079
- минимальное	г/м ³	0,015
Средняя влажность шлама	%	65,6
Средняя зольность шлама	%	4,6

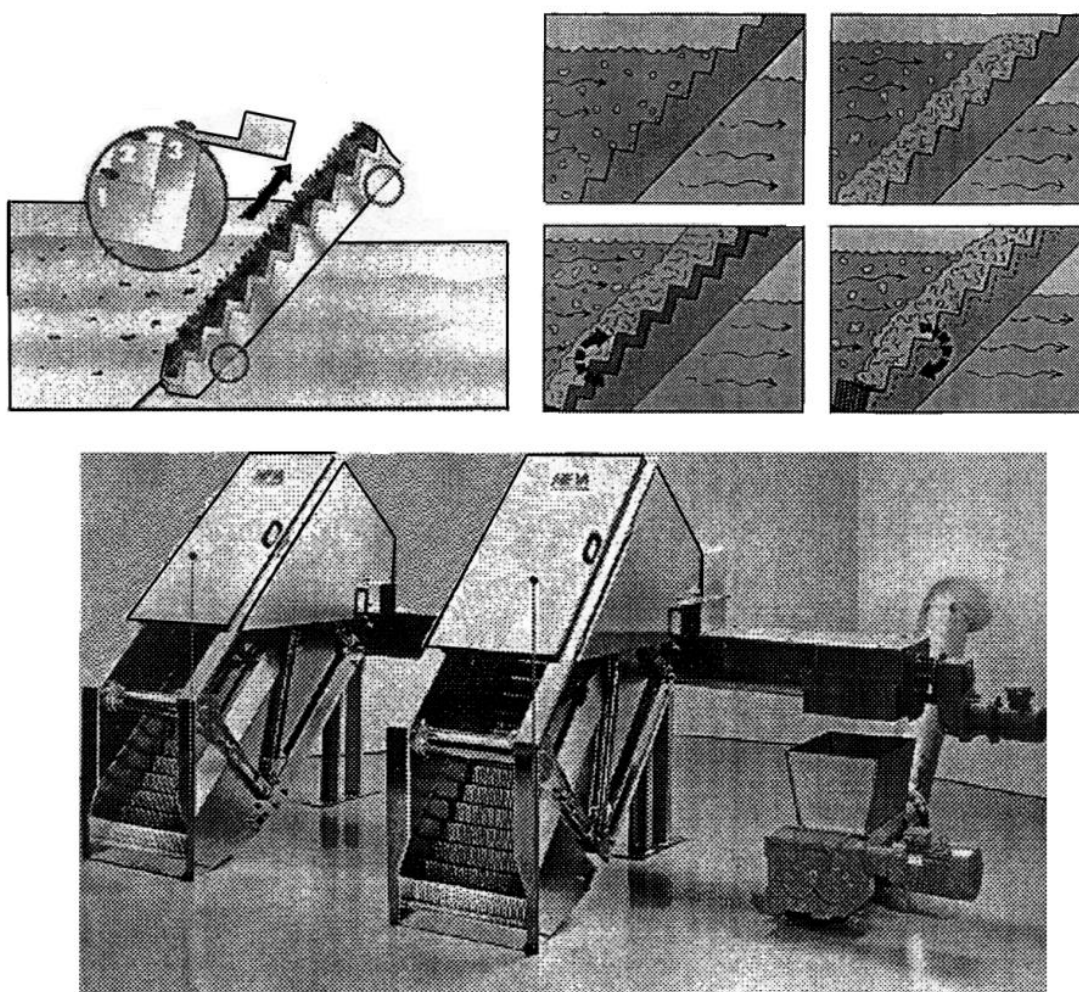


Рис. 4.5. Самоочищающаяся ступенчатая решетка «Ротоскрин»

В последние годы получили распространение самоочищающиеся решётки ступенчатого принципа действия типа «РОТОСКРИН» (рис. 4.5), широко применяемые в зарубежной практике и на некоторых очистных сооружениях в России для процеживания как сточных вод, так и осадков.

Процеживающая часть этих решеток состоит из двух чередующихся пакетов из параллельных пластин – стационарного и подвижного. Движение, совершаемое подвижными пластинами, приводит к тому, что они поднимают собранные продукты фильтрации на одну ступень вверх. В результате последовательных движений уловленные примеси поднимаются до точки выгрузки и попадают на транспортёр.

В процессе эксплуатации решёток **«Ротоскрин»** были выявлены следующие недостатки конструкции механических решёток:

- недостаточная продольная и поперечная жёсткость фильтровальных пластин;
- малый ресурс работы подшипниковых узлов механизма;
- непродолжительный ресурс работы пластмассовых накладок.

На Ново-Люберецкой станции аэрации была установлена решетка для сточных вод RS-35 с прозорами 5 мм. В целом конструкция решетки показала себя достаточно надежной, однако в процессе эксплуатации были выявлены следующие недостатки:

происходило образование «валка» из отбросов; разделительные прокладки между фильтровальными пластинами имеют недостаточную надежность; в нижней части решетки происходит ускоренный износ движущихся частей; аварийное продавливание фильтровальных пластин крупноразмерными, массивными предметами.

Устранение вышеуказанных недостатков возможно как путем улучшения конструкций решеток, так и совершенствованием технологической схемы очистки (рис. 4.6). В приведенной схеме предполагается размещение перед основными мелкопрозорчатыми решетками решеток грубой очистки, исключающее аварийный прорыв крупноразмерных массивных предметов. Располагающиеся вслед за ними песколовки предназначены для выделения из сточной воды только крупного песка, камней, щебня и гравия, перемещающихся в придонной части потока.

Таким образом, введение дополнительных решеток и песколовок грубой очистки позволит создать наиболее благоприятные условия эксплуатации расположенных за ними мелкопрозорных решеток и песколовок, рассчитанных на удержание самых мелких фракций песка (0,07–0,1 мм), что, в свою очередь, обеспечит оптимальные условия удаления осадка из первичных отстойников и его перекачки в метантенки.

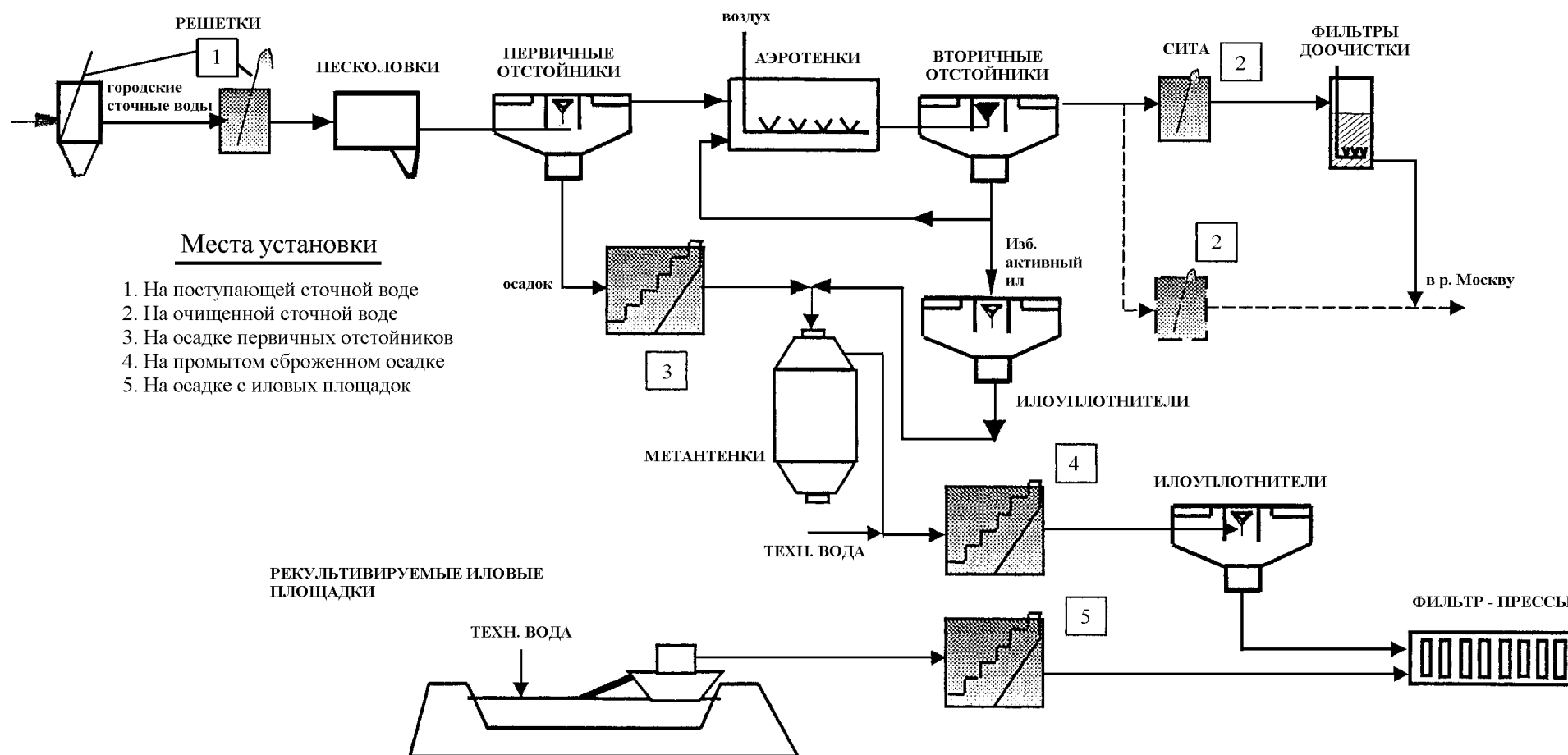


Рис. 4.6. Перспективная схема установки решеток и сит на станциях аэрации

Песколовки

В сточных водах содержится значительное количество нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.). При совместном выделении минеральных и органических примесей в отстойниках затрудняется удаление осадка и уменьшается его текучесть. При этом могут происходить разделение осадка на тяжелую (песок с большой плотностью) и легкую (органическую с небольшим удельным весом) части и накопление песка в отстойниках. Для удаления такого осадка требуются усиленные скребки. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам, особенно самотечным. Песок накапливается и в метантенках, выводя из работы полезные объемы, предназначенные для сбраживания органических осадков. Производительность метантенков снижается, а выгрузка песка из них сопряжена с большими трудностями. Возможны затруднения в работе и последующих сооружений в случае попадания в них песка. Поэтому в составе очистных сооружений за решетками проектируются специальные сооружения, называемые песколовками. Они предназначены для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.). Выделение песка в них происходит под действием силы тяжести.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости; последние на тангенциальные и аэрируемые.

Горизонтальные песколовки представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рис. 4.7). Другими важными элементами песколовок являются: входная часть песколовки, представляющая собой канал, ширина которого равна ширине самой песколовки; выходная часть, представляющая собой канал, ширина которого сужена от ширины песколовки до ширины отводящего канала; бункер для сбора осадка, обычно располагаемый в начале песколовки под днищем.

Возможно устройство бункера и над песколовкой.

Песколовки имеют следующее оборудование: механизм для перемещения осадка в бункер, гидроэлеваторы и насосы для удаления осадка из песколовки и транспорта его к месту обезвоживания или другой обработки.

Механизмы применяются двух типов: цепные или тележечные. Цепные механизмы состоят из двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками. У днища скребки перемещаются в сторону бункера, перемещая при этом осадок. Механизмы тележечного типа состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по двум рельсам или монорельсу вперед и назад, на которой подвешивается скребок. Механизмы для перемещения осадка сложны и ненадежны, так как эксплуатируются над водой во влажной среде.

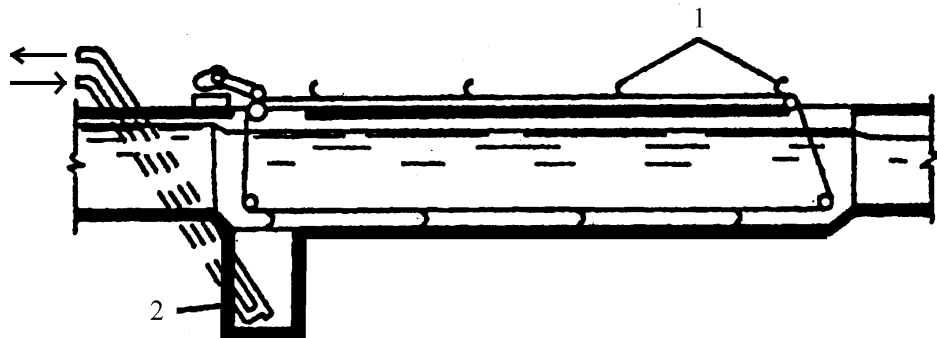


Рис. 4.7. Схема горизонтальной песколовки (продольный разрез): 1 - цепной скребковый механизм; 2 - гидроэлеватор

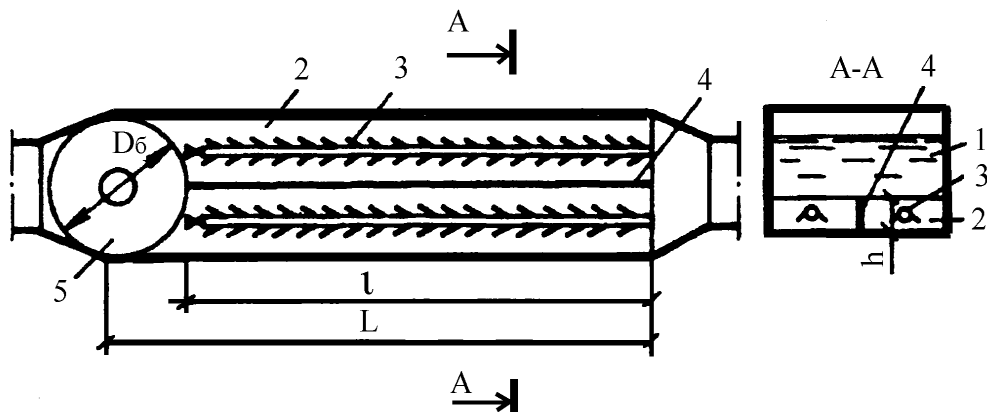


Рис. 4.8. Схема горизонтальной песколовки с гидромеханической системой удаления осадка: 1 - проточная часть песколовки; 2 - песковой лоток; 3 - смывной трубопровод; 4 - перегородка; 5 - песковой бункер

Осадок в бункеры может перемещаться с помощью гидромеханических систем. Они представляют собой уложенные по днищу в лотках смывные трубопроводы со sprays, сориентированными в сторону бункеров для сбора осадка. В этом случае бункеры выполняются в виде круглых тангенциальных песколовок. Схема песколовки с гидромеханической системой представлена на рис. 4.8. При подаче воды в гидромеханическую систему и истечении воды из sprays осадок у днища разжижается (псевдооживается), а затем смывается в сторону бункера. Взмучивание осадка не происходит, напротив, идет подсос к днищу верхних слоев осадка и последующий смыв их в бункер.

Стремление к упрощению выгрузки осадка из песколовок привело к созданию горизонтальной песколовки с круговым движением воды (рис. 3.9). Проточная часть песколовки в поперечном сечении имеет в верхней части прямоугольную форму, а в основании — треугольную со щелью внизу. Весь улавливаемый осадок проваливается через щель в осадочную часть, имеющую коническую форму. Для выгрузки осадка достаточно установки гидроэлеватора.

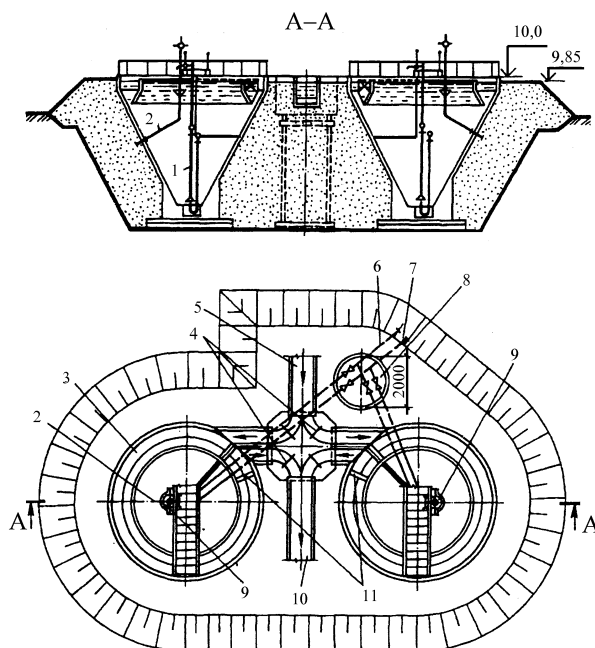


Рис. 4.9. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды: 1 - гидроэлеватор; 2 - трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 - желоб; 4 - затворы; 5 - подводящий лоток; 6 - пульпопровод; 7 - трубопровод рабочей жидкости; 8 - камера переключения; 9 - устройство для сбора всплывающих примесей; 10 - отводящий лоток; 11 – полупогружные щиты

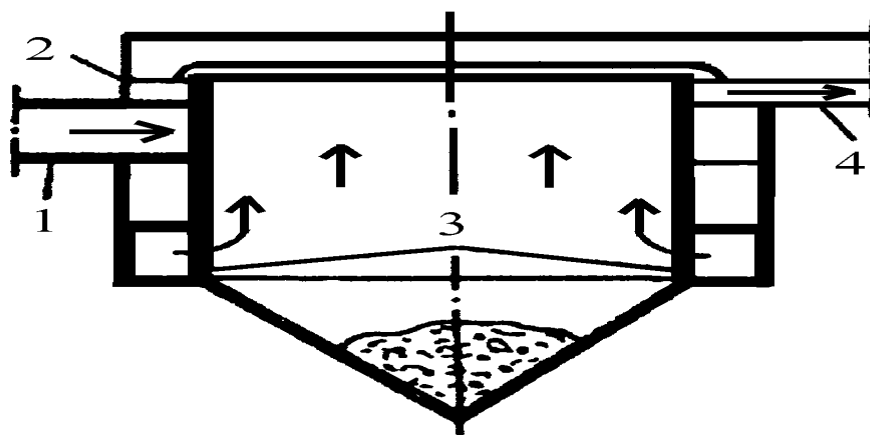


Рис. 4.10. Вертикальная песколовка с вращательным движением сточной воды: 1 - подводящий канал; 2 - сборный кольцевой лоток; 3 - ввод воды в рабочую зону; 4 - отводной канал

Вертикальные песколовки успешно эксплуатируют на ряде очистных станций. На КСА построены вертикальные песколовки с вращательным движением жидкости (рис. 4.10). Они имеют цилиндрическую форму, а подвод воды — по касательной с двух сторон в основании. Конусная часть служит для сбора выпавшего осадка. Сбор и отвод воды осуществляют

кольцевым лотком. При вертикальном движении воды вверх песок осаждается вниз. Следовательно, скорость восходящего потока жидкости должна быть меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка, т.е. $v < U_0$. Вертикальные песколовки удобны для накопления больших объемов осадка. Их целесообразно применять в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод.

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане и касательный подвод воды к ним и обеспечивают в песколовках вращательное движение (на периферии вода движется вниз, а в центре — вверх). Оно способствует поддержанию в потоке органических примесей. При этом скорость вращательного движения невелика и не препятствует выпадению песка в осадок. На рис. 4.11 представлена тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой. В ней интенсифицируется вращательное движение жидкости, что способствует улавливанию песка с минимальным содержанием органических включений.

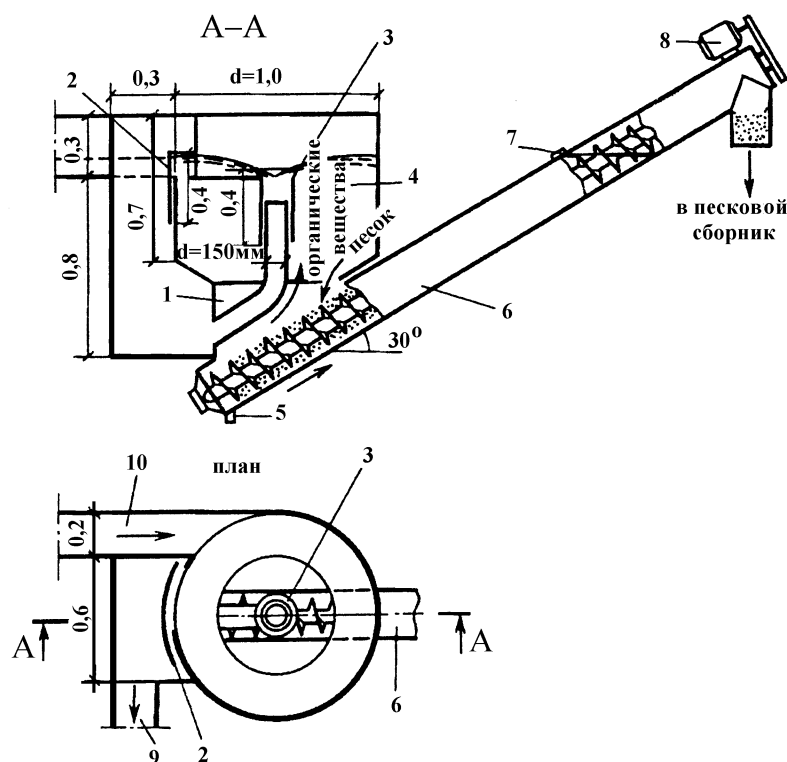


Рис. 4.11. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой: 1 - осадочная часть; 2 - подвижный боковой водослив; 3 - телескопическая труба; 4 - рабочая часть; 5 - заглушка; 6 -

инек; 7 - отверстие для сбора органики; 8 - электропривод; 9 - отводящий лоток; 10 - подающий лоток

Аэрируемые песколовки имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечному сечению. На рис. 4.12 представлена аэрируемая песколовка с трапецевидальным поперечным сечением. Важнейшие элементы песколовки: входная и выходная части, бункер для сброса осадка и песковой лоток. Последний расположен вдоль одной из продольных стенок сооружения. Днище песколовки в поперечном сечении имеет уклон в сторону лотка. Вдоль одной из стенок на глубине $2/3$ от общей гидравлической глубины расположен аэратор, выполненный из дырчатых труб. Песколовка оборудована гидромеханической системой удаления осадка, которая представляет собой смывной трубопровод со sprысками, уложенный по днищу пескового лотка. Для удаления осадка можно применять и скребковые механизмы.

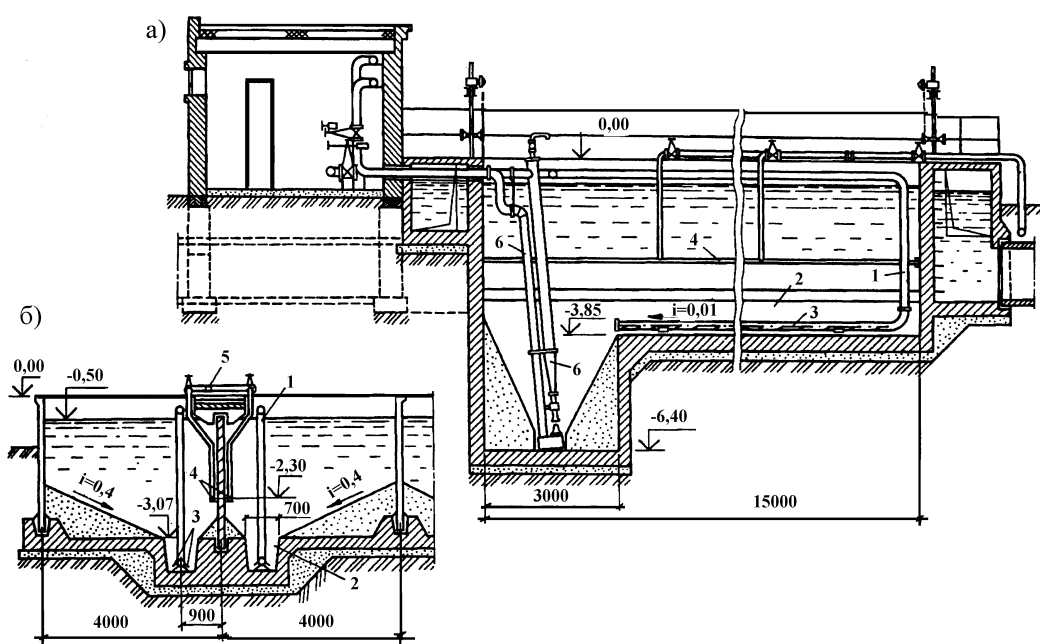


Рис. 4.12 Аэрируемая песколовка с гидромеханической системой удаления осадка: а, б - продольный и поперечный разрез соответственно; 1 - трубопровод подачи промывной воды; 2 - песковой лоток; 3 - sprыски; 4 - аэратор; 5 - воздуховод; 6 - гидроэлеватор

Особенность аэрируемых песколовки заключается в том, что поток очищаемой воды непрерывно аэрируется. Благодаря расположению аэратора

вдоль одной из стенок сооружения и над песковым лотком поток приобретает вращательное движение с перемещением его у днища от одной стенки к другой и к песковому лотку. Вращательное движение обеспечивает и концентрацию осадка в песковом лотке, расположенном с одной стороны сооружения. При интенсивности аэрации $3-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ скорость движения воды на периферии потока равна около $0,3 \text{ м/с}$. Продольная скорость движения воды принимается равной $0,02-0,10 \text{ м/с}$. Суммирование поступательного и вращательного движений приводит к винтовому движению. Даже значительное изменение расхода и поступательной скорости приводит к весьма незначительному изменению максимальной скорости винтового движения, так как вращательная скорость практически не изменяется, значительно и всегда превышает скорость поступательного движения. Таким образом, в аэрируемых песколовках скорость движения воды остается практически постоянной при значительных изменениях расхода. Это в свою очередь обеспечивает поддержание в потоке во взвешенном состоянии органических включений.

Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.). При этом целесообразно вдоль всей песколовки пристраивать специальное отделение для выделения и накопления на поверхности воды всплывающих загрязнений (рис. 4.13), которое отделяется от пескоулавливающего отделения полупогруженной решетчатой перегородкой. В этом отделении из практически спокойного потока эффективно отделяются всплывающие загрязнения, а всплывшие не удаляются на последующие сооружения. Для их удаления отделение оборудуется периодически затопляемым бункером и отводящим трубопроводом.

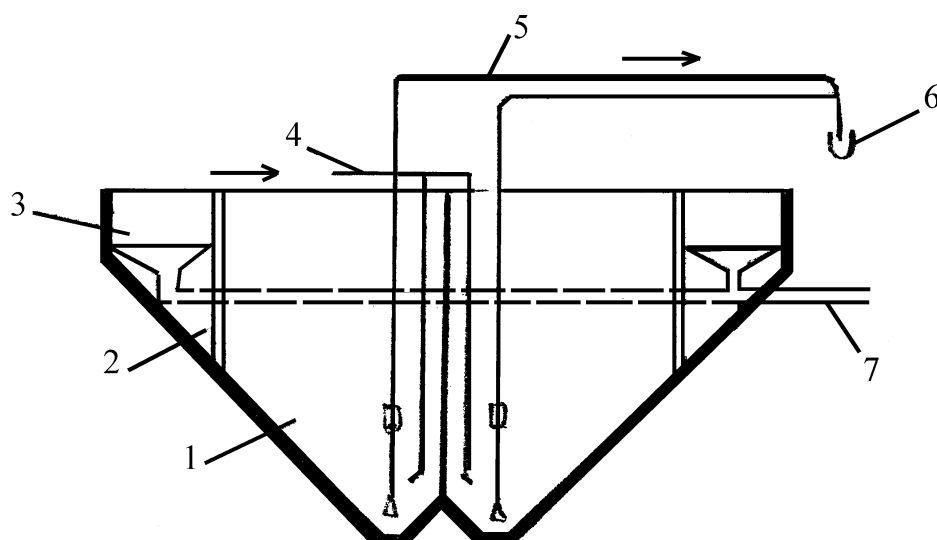


Рис. 4.13. Поперечный разрез аэрируемой песколовки с насосом для удаления осадка из пескового лотка: 1 - зона улавливания песка; 2 - щелевидная перегородка; 3 - зона улавливания жира и нефтепродуктов; 4 - подача воздуха; 5 - откачка песка насосом из пескового лотка; 6 - лоток отвода песковой пульпы; 7 - трубопровод отвода жира

По многолетним результатам эксплуатации считается, что для нормальной работы сооружений содержание песка в осадке первичных отстойников не должно превышать 3-6%. Для оценки работы песколовок важно содержание минеральной части в осадке песколовок, при анализе учитывался и этот показатель. Обобщенные данные анализа представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Количество и состав песка, поступающего на очистные сооружения и эффективность работы различных видов песколовок

Тип песколов ок	Содержание песка в исходной сточной воде			Эффективность работы песколовок, %			Зольнос ть осадка из песколо вок, %
	Общее г/м³	В т.ч., %		Общая	По песку фракций		
		Больш е d=0,25 мм	Меньш е d=0,25 мм		Больш е d=0,25 мм	Мень ше d=0,25 мм	

Аэрируемые (1974-1987 гг)	11,5-22,5	29,0-52,3	44,9-71,0	32,1-63,7	81,1-93,7	9,5-27,0	60,0-86,0
	16,4	42,7	57,3	47,9	86,7	18,9	77,6
Вертикальные (1974-1987 гг)	14,1-25,9	37,7-63,6	36,4-63,3	59,7-79,1	92,3-98,3	33,7-55,9	69,0-87,0
	18,6	49,7	50,3	69,1	96,2	42,5	78,3
Гориз. (1961-1968 гг)	19,5-56,3	48,2-77,8	22,2-51,8	74,9-86,3	98,0-98,4	17,0-64,0	74,0-93,0
	33,7	68,7	31,3	80,7	99,1	43,3	88,7

Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовок заключается в определении размеров их поперечного сечения и длины. Площадь живого сечения одного отделения песколовок составит:

$$F = q_{max} / vn, \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

где q_{max} - максимальный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$;

v - продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц песка (табл. 3.4), $\text{м}/\text{с}$;

n - количество отделений песколовок.

Длину песколовок определяют по формуле:

$$L = K \cdot h_{max} \cdot v / u_0, \text{ м} \quad (4.2)$$

где h_{max} - максимальная глубина проточной части песколовки, м ;

u_0 - гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, $\text{м}/\text{с}$;

K - коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока.

Величина K определяется по формуле:

$$K = u_0 / (u_0^2 - \omega^2)^{0,5}, \quad (4.3)$$

где $\omega = 0,05 v$ - вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости.

Расчет вертикальных и тангенциальных песколовков производится из условия задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане составит:

$$F_{план} = q_{max} / u_0 n, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

где n – количество песколовков.

Высота цилиндрической части песколовки составит:

$$h_{\phi} = t \cdot v, \text{ м} \quad (4.5)$$

где $v = u_0$;

$t = 120-180$ с – продолжительность пребывания воды в песколовке.

В песколовках стенки песковых бункеров выполняют под углом 60° к горизонту для обеспечения сползания осадка при его откачке, которая осуществляется гидроэлеваторами (КПД = 0,15-0,2) или песковыми насосами (КПД = 0,7).

Бункеры для накопления осадка обычно располагаются в начале сооружений, где выпадает его наибольшее количество, а выгрузки осадка из сооружений осуществляется не реже 1 раза за 8-12 ч. Для перемещения осадка к бункеру со всей длины сооружения могут применяться скребковые механизмы.

Таблица 4.4

Расчетные параметры песколовков

Диаметр частиц песка, мм	Гидравлическая крупность u_0 , мм/с	Продольная скорость движения воды в песколовках, м/с	
		горизонтальные	аэрируемые
0,05	2,0	0,1-0,15	0,02-0,05
0,10	5,9	0,1-0,15	0,02-0,05
0,15	13,2	0,15-0,2	0,05-0,1

0,20	18,7	0,15-0,2	0,05-0,1

Перспективным методом перемещения осадка к бункерам является применение гидромеханических систем. Для смыва осадка достаточно его незначительного расширения. Для этого восходящая скорость потока по всей площади осадка (площади днища и лотка сооружения) должна составлять $v = 0,63$ см/с (при эквивалентном диаметре зерен песка в осадке $d_{\text{экв}} = 0,05$ см). Требуемый расход промывной воды должен быть равен

$$q_1 = vbl, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.6)$$

где b и l — ширина и длина пескового лотка, м.

Диаметр смывного трубопровода определяется по формуле

$$D_{\text{од}} = \sqrt{4q_1 / \pi v_{\text{од}}}, \text{ м} \quad (4.7)$$

где $v_{\text{тр}}$ - скорость промывной воды в начале смывного трубопровода, которую рекомендуется принимать равной 2,5-3,5 м/с.

Для обеспечения надежного смыва осадка со всей длины лотка напор в начале смывного трубопровода должен быть равен:

$$H_0 = 5,6h_0 + (5,4v_c^2 / 2g), \text{ м} \quad (4.8)$$

где h_0 — высота слоя осадка в песковом лотке, м; v_c - скорость в спрыске, 4-7 м/с.

Высоту слоя осадка определяют исходя из общего количества улавливаемого осадка за период между выгрузками его из песколовки. Высота пескового лотка с запасом должна равняться

$$h_1 = 1,5h_0, \text{ м} \quad (4.9)$$

Диаметр спрысков должен составлять

$$d_{\text{од}} = \sqrt{4q_1 / \pi n \mu_p \sqrt{2gH_0}}, \text{ м} \quad (4.10)$$

где μ_p - коэффициент расхода спрыска, зависящий от его конструкции и ориентировочно равный 0,82; n - число спрысков на одном смывном

трубопроводе, равное:

$$n = 2l_{mp} / z, \quad (4.11)$$

здесь l_{mp} — длина смывного трубопровода, равная длине пескового лотка;
 z — расстояние между sprысками, которое рекомендуется принимать равным 0,25-0,4 м.

Откачка осадка из бункеров производится гидроэлеваторами, насосами и реже эрлифтами. Предварительно осадок в бункерах взмучивается. Выгрузка осадка производится не реже 1 раз в сут. Обычно выгрузка производится 1 раз в смену (через 7-8 ч).

Выгружаемый из песколовков осадок, содержащий значительное количество органики, является опасным с санитарной точки зрения и требует специальной обработки. Новая технологическая схема обработки осадка, разработанная на кафедре водоотведения МГСУ, включает промывку осадка восходящим потоком воды и последующее разделение песка и органических включений на барабанном сетчатом сепараторе с одновременной промывкой осадка водой (рис. 4.14).

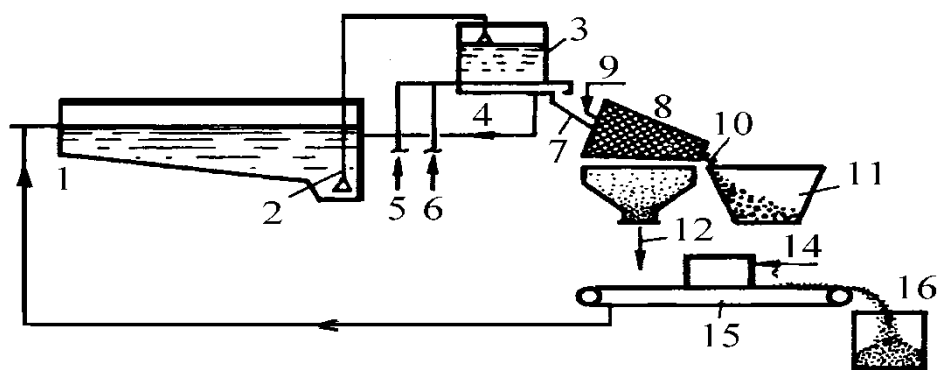


Рис. 4.14. Схема узла по обработке осадка из песколовков: 1 - песколовка; 2 - гидроэлеватор; 3 - пескопромыватель; 4 - возврат воды; 5 - промывная вода; 6 - воздух; 7 - осадок в барабанный сепаратор; 8 - барабанный сепаратор; 9 - промывная вода; 10 - органика из сепаратора; 11 - бункер для органики; 12 - песок; 13 - фильтрат; 14 - пропарочная камера для дезинфекции; 15 - ленточный вакуум-фильтр; 16 - обезвоженный песок

Для отмывки и обезвоживания песка применяются специальные бункеры, приспособленные для последующей погрузки песка в

автотранспорт. Такие бункеры могут выполняться по типу тангенциальных песколовков. На практике чаще используют песковые площадки.

Отстойники

Отстаивание является самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод грубодиспергированных примесей с плотностью, отличной от плотности воды. Под действием силы тяжести частицы загрязнений оседают на дно сооружения или всплывают на его поверхность.

Относительная простота отстойных сооружений обуславливает их широкое применение на различных стадиях очистки сточной воды и обработки образующихся осадков. В зависимости от своего назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойные сооружения подразделяются на следующие: отстойники — первичные, вторичные и третичные (контактные резервуары); илоуплотнители; осадкоуплотнители.

Классификация отстойных сооружений по основным технологическим и конструктивным признакам приведена на рис. 4.15.

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

Взвешенные вещества, содержащиеся в городских сточных водах, имеющие преимущественно органическое происхождение, представляют собой полидисперсную агрегативно-неустойчивую систему с большим диапазоном изменения размеров частиц, обладающих хорошими адгезионными свойствами, что обуславливает их агломерацию при взаимных столкновениях в процессе осаждения (седиментации), что изменяет форму, размеры, плотность и скорость осаждения частиц полидисперсного состава.

В практике проектирования и эксплуатации первичных отстойников широкое распространение получило использование зависимостей эффекта осветления сточной воды от продолжительности ее отстаивания. Эффект осветления

$$\mathcal{E}_t = (C_{ln} - C_t)100 / C_{ln}, \% \quad (4.12)$$

где C_{ln} – концентрация взвешенных веществ в неосветлённой сточной воде, мг/л;

C_t - концентрация взвешенных веществ в осветлённой сточной воде, мг/л;

Для описания кинетики эффективности осветления сточных вод широко используют эмпирическое уравнение вида

$$\mathcal{E}_t = (t_{set} / 120)^{a/t} \mathcal{E}_{120}, \% \quad (4.13)$$

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

$\mathcal{E}_{120}$ - относительное содержание оседающих веществ в сточной воде к общей массе взвешенных веществ;

$\mathcal{E}_{120} = (C_{ln} - C_{120})100 / C_{ln}$ (здесь C_{120} – остаточное содержание взвешенных веществ после 120 мин отстаивания в покое).

Для расчета отстойников используют понятие условной гидравлической крупности взвеси, соответствующей заданному эффекту осветления U_0 , мм/с, и определяемой из соотношения:

$$U_0 = h_{set} / t_{set}. \quad (4.14)$$

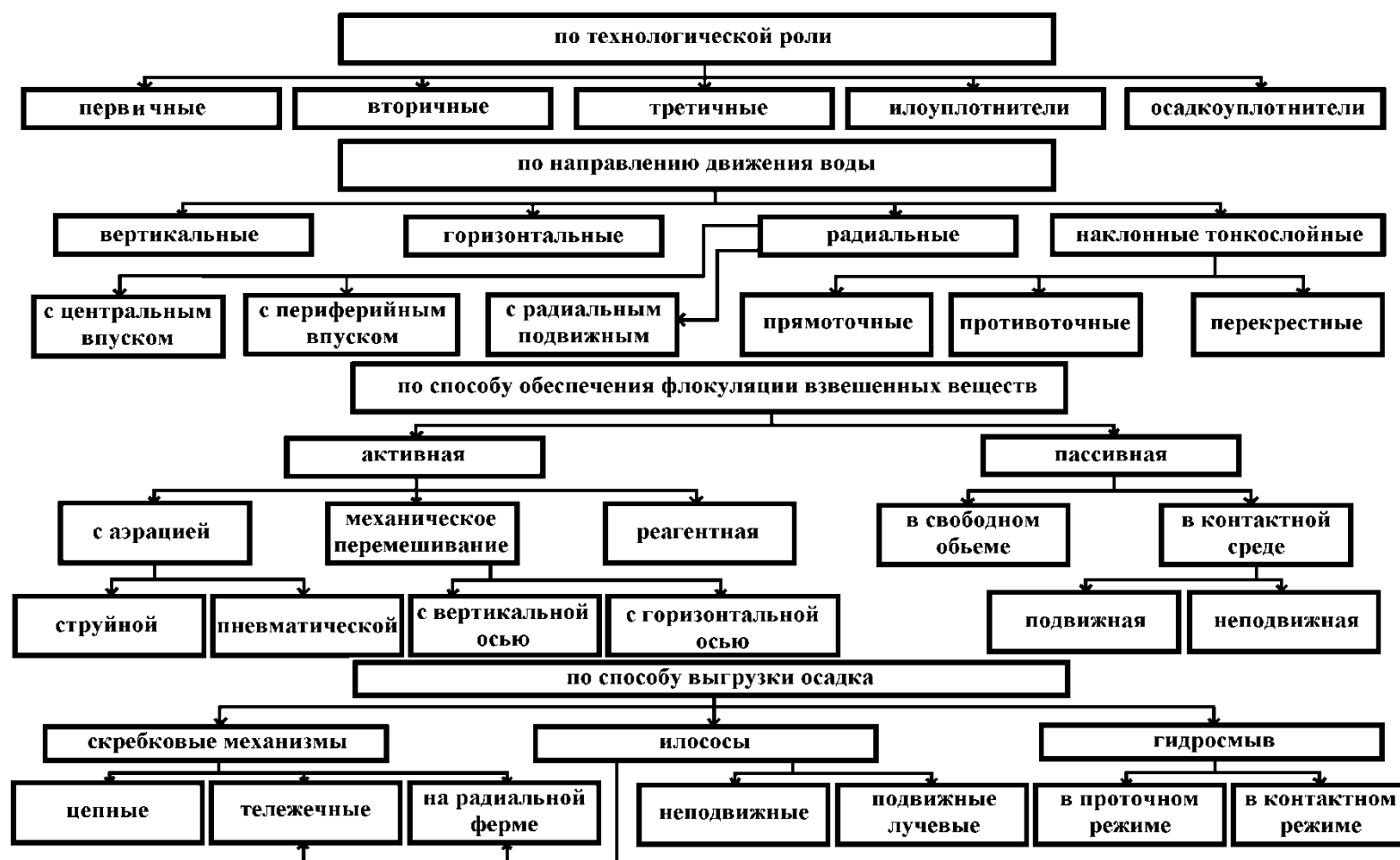


Рис. 4.15 Классификация отстойных сооружений

Для проектируемых отстойников условная гидравлическая крупность пересчитывается применительно к глубине отстаивания проектируемого отстойника:

$$U_0 = 1000H_{set} / t_{set}(H_{set} / h_{set})^n. \quad (4.15)$$

Основным условием расчета первичных отстойников является обеспечение задержания в них взвешенных веществ, гидравлическая крупность которых не меньше расчетной условной гидравлической крупности. При расчете отстойников следует учитывать особенности гидродинамического режима движения в них воды, которые зависят от типа применяемого сооружения и определяются в основном условиями входа осветляемой воды в зону осветления, а также условиями сбора осветленной воды и выгрузки образующегося осадка.

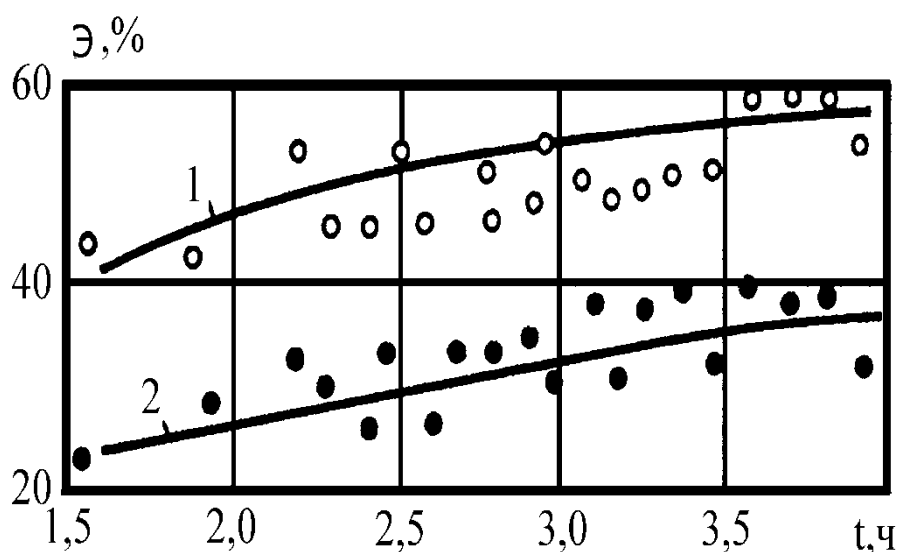


Рис. 4.16. Зависимость эффекта снижения концентрации взвешенных веществ (кривая 1) и БПК5 (кривая 2) от продолжительности осветления

Таким образом, в действующих первичных отстойниках условия флокуляции и осаждения взвешенных веществ в потоке движущейся сточной воды существенно отличаются от условий отстаивания в покое. Как следствие, достигаемый в производственных условиях эффект снижения концентрации взвешенных веществ не превышает 50-60%.

На рис. 4.16 приведены эксплуатационные данные работы первичных отстойников, которые показывают эффективность осветления сточной воды по изъятию взвешенных веществ и снижению БПК в диапазоне продолжительностей отстаивания 1,5-4 ч.

В действующих отстойниках гидродинамическая характеристика потока осветляемой воды определяется типом и конструкцией отстойного сооружения, скоростями и направлением впуска сточной воды в зону отстаивания, нагрузкой сточных вод на поверхность отстойника и нагрузкой собираемой осветленной воды на единицу длины водослива.

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные в плане резервуары, разделенные продольными перегородками на несколько отделений, в которых поток осветляемой воды, распределяемый по ширине сооружения с помощью лотка с впускными отверстиями, движется горизонтально в направлении водослива сборного канала, расположенного с противоположного торца отстойника (рис. 4.17).

Выпадающий по длине отстойника осадок перемещается скребком в расположенные на входе в сооружение иловые приемки, откуда под гидростатическим напором выгружается в самотечный трубопровод с последующим его отводом на перекачивающую насосную станцию. Всплывающие нефтемасляные и жировые вещества собираются в конце сооружения в жиросборный лоток, из которого также самотеком отводятся на перекачку.

Достоинствами горизонтальных отстойников являются их относительно высокий коэффициент использования объема и достигаемый эффект осветления воды по взвешенным веществам — 50-60%; возможность их компактного расположения и блокирования с аэротенками. Недостатком горизонтальных отстойников является неудовлетворительная надежность работы используемых в них механизмов для сгребания осадка тележечного или цепного типа, особенно в зимний период. Использование в типовых

подводится лотком к центральной раструбной трубе, опускаясь по которой вниз, освещаемая вода отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону освещения (рис. 4.18).

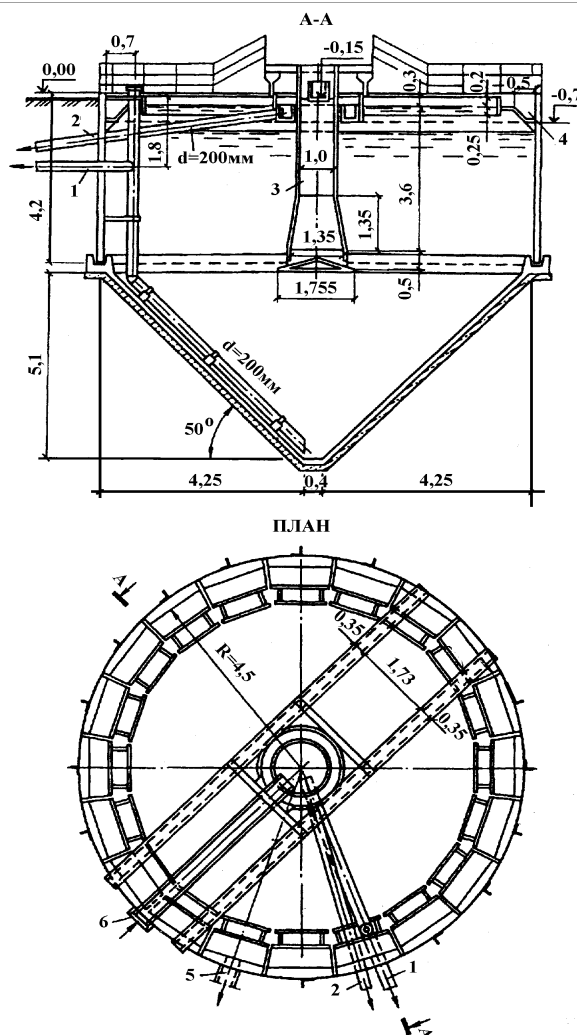


Рис. 4.18. Первичный вертикальный отстойник из сборного железобетона: 1 – иловая труба для выпуска осадка; 2 – жиропровод для выпуска всплывающих веществ; 3 – центральная впускная труба с отражателем; 4 – сборный лоток освещенной воды; 5 – отводящий лоток; 6 – подводящий лоток

В восходящем потоке осветляемой воды происходит флокуляция частиц взвеси, и образующиеся агломерации взвеси, гидравлическая крупность которых u_0 превосходит скорость восходящего вертикального потока $v_{\text{верт}}$, выпадают в осадок. Более мелкая взвесь, для которой $u_0 < v_{\text{верт}}$, выносятся с восходящим потоком воды. Для городских сточных вод скорость восходящего потока составляет 0,5-0,7 мм/с.

Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком, высота гребня водослива которого определяет уровень воды в отстойнике. Всплывающие вещества жирового состава собираются в центре отстойника кольцевым лотком, из которого отводятся трубопроводом в самотечную иловую сеть. Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим напором 1,5-2,0 м через иловую трубу в самотечную иловую сеть. Объем иловой части рассчитывается на двухсуточный объем образующегося осадка. Влажность выгружаемого осадка составляет 95%. Достоинствами вертикальных первичных отстойников являются простота их конструкции и удобство в эксплуатации; недостатками — большая глубина сооружений, что ограничивает их максимальный диаметр - 9 м, а также невысокая эффективность осветления воды (обычно не превышающая 40% по снятию взвешенных веществ).

Более совершенными с технологической точки зрения являются вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком осветляемой воды (рис. 4.19). В отстойнике этого типа зона осветления разделена полупогружной перегородкой на две равные по площади зеркала воды части.

Сточная вода поступает в центральную часть по лотку или трубопроводу и через зубчатый водослив отражательным козырьком распределяется по площади зоны осветления, где происходит нисходящее движение потока осветляемой воды, обеспечивающее лучшее совпадение направлений векторов движения потока воды и выпадения агломерирующейся взвеси, чем в типовых вертикальных отстойниках с центральной распределительной трубой. Основная масса взвешенных веществ успевает выпасть в осадок до поступления потока осветляемой воды в кольцевую зону восходящего движения, где происходит доосветление воды, которая собирается периферийным сборным лотком.

Коэффициент использования объема в этих отстойниках повышается до

0,65, и эффективность осветления воды по снижению концентрации взвешенных веществ достигает 60-65%.

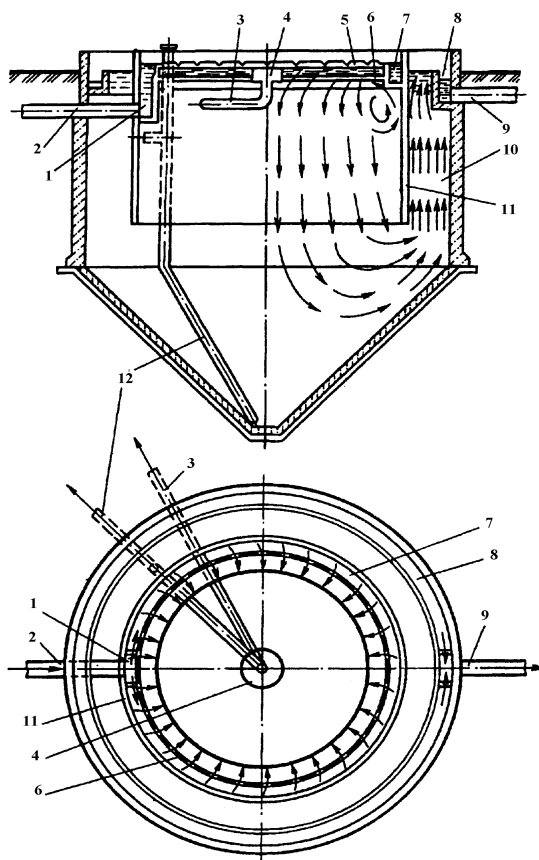


Рис. 4.19. Первичный вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком: 1 – приемная камера; 2 – подающий трубопровод; 3, 4 – трубопровод и воронка соответственно для удаления плавающих веществ; 5 – зубчатый распределительный водослив; 6 – отражательный козырек; 7 – распределительный лоток; 8 – периферийный сборный лоток осветленной воды; 9 – отводящий трубопровод; 10 – кольцевая зона восходящего движения; 11 – кольцевая перегородка; 12 – трубопровод для выпуска осадка

Осадок под действием гидростатического давления выгружается через центральный илопровод. Всплывающие вещества удаляются из центральной части через приемную воронку и самотечный трубопровод.

Простота конструкции вертикальных отстойников обусловила их широкое применение на очистных сооружениях средней пропускной способностью 2,0-15,0 тыс. м³/сут.

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары, в которых сточная вода подается в центр отстойника и движется

радиально от центра к периферии (рис. 4.20).

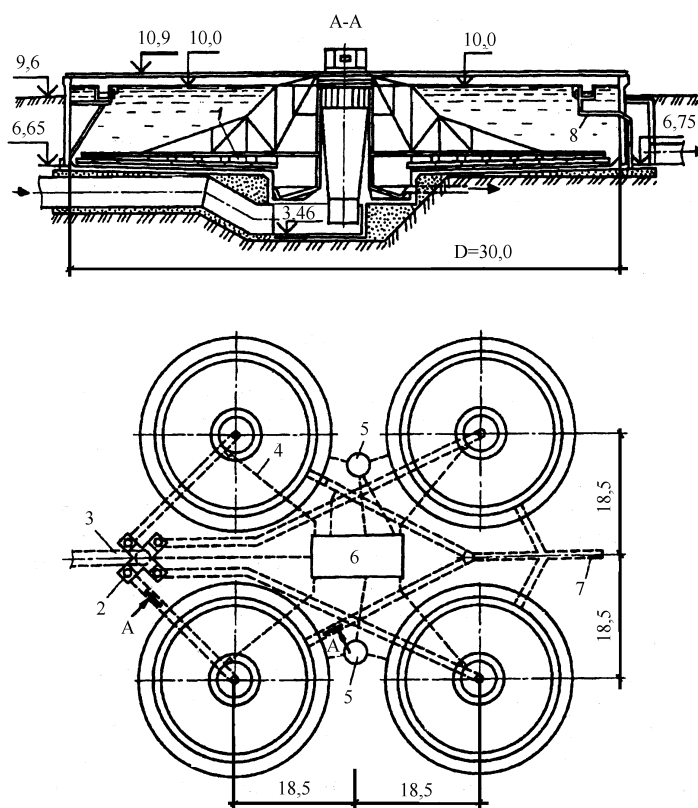


Рис. 4.20. Первичные радиальные отстойники: 1 – илоскреб; 2 – распределительная камера; 3 – подводящий трубопровод; 4 – трубопровод выгрузки осадка; 5 – жиросборник; 6 – насосная станция перекачки осадка; 7 – трубопровод отвода осветленной воды; 8 – жиропровод

Скорость движения осветляемой воды изменяется от максимальных значений в центре до минимальных на периферии радиального отстойника. Взвешенные вещества, выпадающие в осадок из движущегося потока осветляемой воды, перемещаются в иловый приямок скребками, размещенными на вращающейся ферме. На этой же ферме расположено подвесное устройство, сгребающее всплывающие на поверхность вещества к жиросборнику, из которого они отводятся на перекачку. Осадок удаляется с помощью плунжерных и центробежных насосов, что обеспечивает снижение его влажности до 93,0-93,5 %. Радиальные первичные отстойники обеспечивают задержание 50-55% взвешенных веществ.

Разработанные типовые проекты радиальных отстойников диаметром 18-50 м позволяют использовать их на очистных сооружениях практически любой пропускной способности, начиная с 20 тыс.м³ в сут.

Метод расчета первичных отстойников заключается в выборе типа и необходимого числа типовых сооружений, обеспечивающих требуемый эффект осветления.

Требуемая эффективность снижения концентрации взвешенных веществ при первичном осветлении воды в отстойнике $\mathcal{E}_{mp}$, %, рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{mp} = (C_{ln} - C_t)100 / C_{en}, \quad (4.16)$$

где C_t — концентрация взвешенных веществ в воде после первичного отстаивания, мг/л, принимаемая равной 100-150 мг/л.

Для достижения требуемого эффекта осветления при ближайшей соответствующей начальной концентрации взвешенных веществ определяется необходимая продолжительность отстаивания воды в покое t_{set} путем интерполяции данных:

$$t_{set} = t_{set(n)} + (t_{set(n+1)} - t_{set(n)} / \mathcal{E}_{n+1} - \mathcal{E}_n)(\mathcal{E}_{mp} - \mathcal{E}_n), \quad (4.17)$$

$t_{set(n)}$ и $t_{set(n+1)}$ - продолжительность отстаивания, соответствующая эффективности осветления $\mathcal{E}_n$ и $\mathcal{E}_{n+1}$, в интервале которых находится $\mathcal{E}_{mp}$, при условии, что $\mathcal{E}_n < \mathcal{E}_{mp} < \mathcal{E}_{n+1}$.

Если $t_{set} > (30-40)$ мин, то это свидетельствует, что данный эффект осветления приходится на пологую часть кривой кинетики осветления (см. СП) и его достижение без предварительной интенсификации процесса осаждения приведет к завышению объемов отстойников.

Условная гидравлическая крупность u_0 , мм/с, взвешенных веществ, которую необходимо обеспечить при отстаивании в покое при высоте осветления, равной глубине проточной части отстойника, рассчитывается по формуле, рекомендуемой действующим СП:

$$u_0 = 1000H_{set} / t_{set} (H_{set} / h_{set})^n, \quad (4.18)$$

где H_{set} — глубина проточной части отстойника, м, принимаемая

предварительно на основе возможных глубин типовых отстойников, принимаемых в зависимости от их выбранного типа;

h_{set} — глубина при отстаивании в покое, принимаемая равной 0,5 м;

n — показатель степени, зависящий от способности взвешенных веществ к агломерации, принимаемый по рис. 4.21.

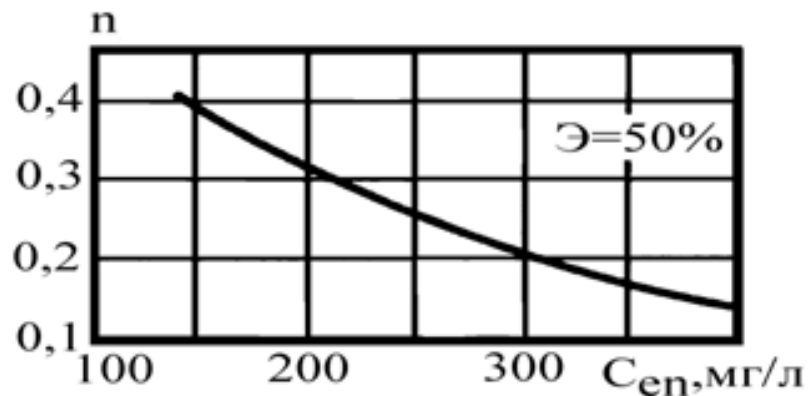


Рис. 4.21. Зависимость n от начальной концентрации взвешенных веществ (при $\Xi=50\%$)

Необходимая продолжительность осветления воды в отстойнике рассчитывается по формуле

$$t_{омс} = 1000 H_{set} / K_{set} u_0, \text{ с} \quad (4.19)$$

где K_{set} — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от выбранного типа первичных отстойников.

Расчетный объем первичных отстойников $W_{рас}$, м^3 , определяется по формуле

$$W_{рас} = q_{\max} t_{омс} / 3600, \text{ м}^3 \quad (4.20)$$

Исходя из выбранного типа отстойников и их возможной компоновки в схеме очистной станции принимаются необходимое число проектируемых отстойников $K_{омс}$ и их размеры, которые наиболее близко соответствуют величине $W_{рас}$, и определяется фактический расход воды $q_{факт}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, на один отстойник

$$q_{факт} = q_{\max} / K_{омс} \quad (4.21)$$

Фактическая средняя скорость потока v_{cp} , мм/с, в горизонтальном отстойнике шириной B составит:

$$v_{\bar{\delta}} = q_{\delta\delta\delta\delta} 1000 / BH_{\delta\delta\delta\delta} 3600 \quad (4.22)$$

Для радиального или вертикального отстойника средняя скорость потока v_{cp} , мм/с, определяется на половине радиуса отстойника для $D_{cp} = d_{факт}/2$

$$v_{\bar{\delta}} = q_{\delta\delta\delta\delta} 1000 / \pi D_{\bar{\delta}}^2 \dot{q}_{\delta\delta\delta\delta} 3600 \quad (4.23)$$

Определяется вертикальная составляющая турбулентной пульсации ω , мм/с, в отстойнике:

$$\omega = 0,05 v_{\bar{\delta}}. \quad (4.24)$$

Рассчитывается фактическая продолжительность отстаивания воды $t_{факт}$, ч, в первичном отстойнике:

$$t_{факт} = W_{факт} / q_{\max}. \quad (4.25)$$

Определяется гидравлическая крупность взвешенных веществ $u_{отс}$, мм/с, задерживаемых в отстойнике принятых размеров и типа

$$u_{отс} = 1000 H_{факт} / K_{set} t_{факт} 3600, \quad (4.26)$$

С учетом поправок на вертикальную составляющую турбулентной пульсации ω и увеличение вязкости воды μ при ее температуре в производственных условиях в зимний период, отличной от лабораторной ($T_{лаб} = 20^\circ\text{C}$), определяется фактическая гидравлическая крупность задерживаемых взвешенных веществ $u_{факт}$, мм/с,

$$u_{факт} = \mu_{np} u_{отс} / \mu_{лаб} + \omega, \quad (4.27)$$

где $\mu_{np} = 1 + 0,0337 T$ - динамическая вязкость сточной воды, г/(см с).

Из формулы 3.28 определяется лабораторная продолжительность отстаивания в покое $t_{лаб}$, с, соответствующая фактической условной гидравлической крупности $u_{факт}$ и фактической глубине отстаивания $H_{факт}$,

$$t_{лаб} = 1000 H_{факт} / u_{факт} (H_{факт} / h_{set})^n \quad (4.28)$$

Путем интерполяции определяется фактический эффект осветления $\mathcal{E}_{факт}$, %, соответствующий продолжительности отстаивания $t_{лаб}$:

$$\mathcal{E}_{факт} = \mathcal{E}_n + (\mathcal{E}_{n+1} - \mathcal{E}_n)(t_{лаб} - t_n) / (t_{set(n+1)} - t_{set(n)}), \quad (4.29)$$

где $t_{set(n)} < t_{лаб} < t_{set(n+1)}$.

Концентрация взвешенных веществ C_t , мг/л, в осветленной воде составит

$$C_t = C_0 (1 - 0,01 \cdot \mathcal{E}_{факт}) \quad (4.30)$$

Эффективность снижения БПК в первичных отстойниках составляет $\mathcal{E}_{БПК} = 0,6 \mathcal{E}_{факт}$ и в осветленной воде будет равна:

$$L_t = L_0 (1 - 0,01 \cdot \mathcal{E}_{БПК}) \quad (4.31)$$

Масса сухого вещества $M_{сух}$, т/сут, уловленного за сутки осадка составит

$$M_{сух} = C_0 (0,01 \cdot \mathcal{E}_{факт}) K Q / (1000 \cdot 1000), \quad (4.32)$$

где Q — расход сточных вод, м³/сут;

$K = 1,2$ — коэффициент, корректирующий массу загрязнений, не учитываемых при анализе взвешенных веществ.

Объем осадка, выгружаемого из отстойников за сутки $W_{ос}$, м³/сут ,

$$W_{ин} = 100 \cdot \dot{I}_{\dot{\rho} \dot{o} \dot{o}} / (100 - \hat{A}_{ин}) \rho, \quad (4.33)$$

где $B_{ос}$ — влажность осадка, %, принимаемая 93-95%;

ρ — плотность осадка, т/м³.

Методы интенсификация осветления сточных вод.

В получивших распространение первичных отстойниках задерживается обычно 40-50% взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах. Вместе с тем при начальной концентрации взвешенных веществ не менее 300-400 мг/л, характерной для режимов экономного водопотребления, необходимый эффект первичного осветления может достигать 70 - 75%. В противном

случае неизбежен повышенный прирост избыточного активного ила, имеющего больший фактический объем и меньшую влагоотдачу при последующем обезвоживании. В условиях формирования многокомпонентных городских сточных вод очень часто также образуется тонкодисперсная взвесь, в которой содержание оседающих веществ не превышает 30 -50%. В указанных выше случаях для обеспечения требуемой эффективности первичного осветления необходимо интенсифицировать процесс осаждения взвешенных веществ.

Обширные исследования, проведенные за последние годы в нашей стране и за рубежом, позволили разработать и испытать различные методы интенсификации процессов отстаивания сточных вод и уплотнения образующихся осадков (рис. 4.22). Однако из известных методов интенсификации первичного отстаивания наибольшее распространение для очистки городских сточных вод получили методы, связанные с использованием биофлокулирующих свойств избыточного активного ила и биопленки, имеющих в своем составе внеклеточные биополимеры, обуславливающие пространственное структурирование и биофлокуляцию клеточных образований.

Концентрация основных категорий биополимеров - полисахаридов, протеинов, РНК и ДНК достигает максимума в фазе эндогенной респирации микроорганизмов.

Образующиеся экзогенные биополимеры обеспечивают формирование и прикрепление биопленки, объединение свободноплавающих микроорганизмов в клоны и хлопья, которые при уменьшении градиента скорости способны агрегироваться в крупные быстрооседающие хлопья активного ила размером в несколько миллиметров.

Функциональные группы, содержащиеся в биополимерах, могут в среде, близкой к нейтральной, проявлять свойства ионов или быть неионогенными, обеспечивая образование мостиковых связей как между собой, так и с

другими частицами минерального или органического происхождения, т.е. выполняют роль флокулянтов.

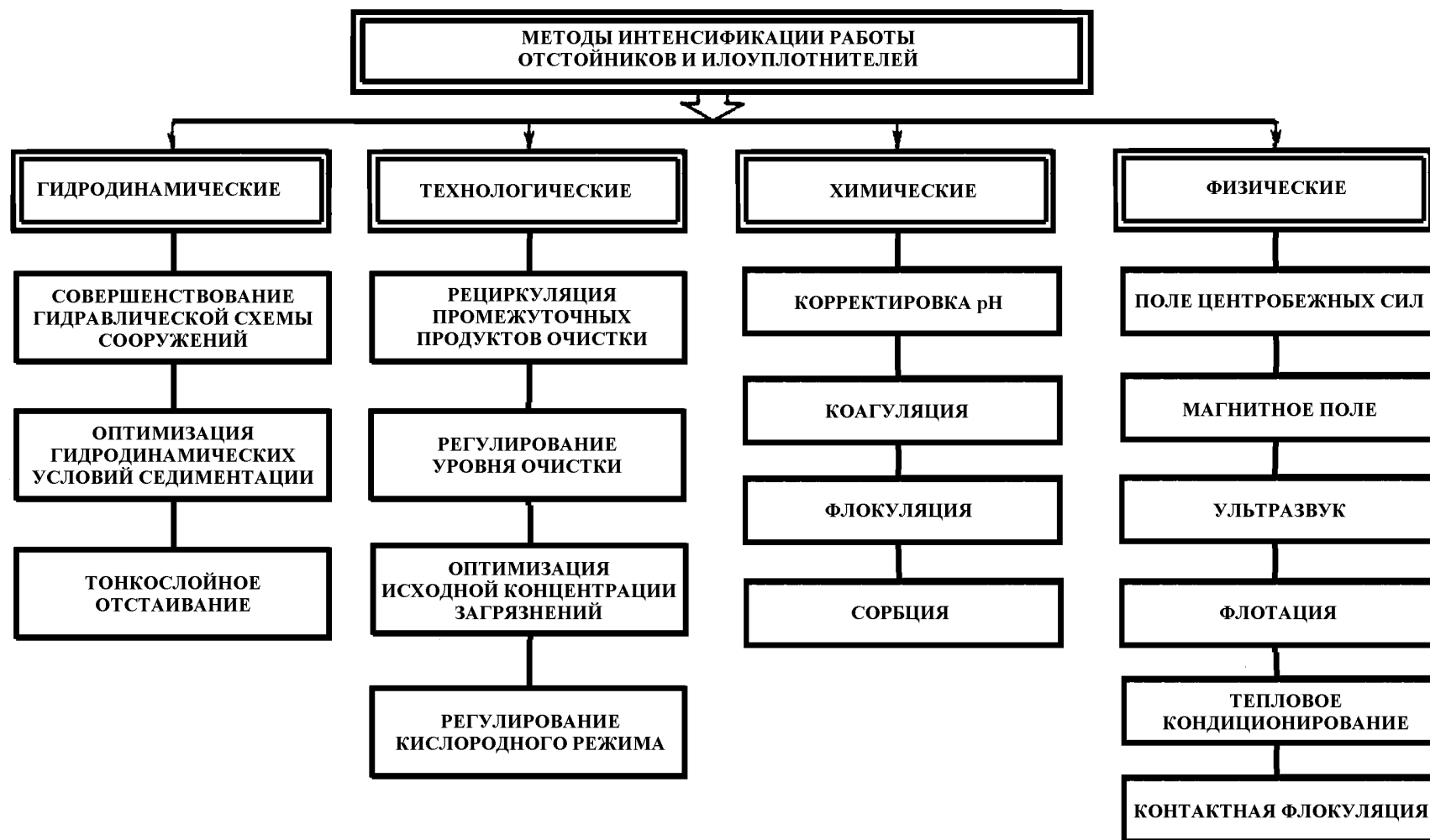


Рис. 4.22. Методы интенсификации работы отстойников и илоуплотнителей

Таким образом, избыточный активный ил и биопленка представляют собой естественные биофлокулирующие добавки, образующиеся в процессе биологической очистки сточных вод. Использование их биофлокулирующих свойств целесообразно в качестве одного из самых экономичных методов физико-химического воздействия на формирование агломераций мелкодисперсной взвеси в процессе ее седиментации (осаждения).

Биофлокуляция была успешно реализована во встроенных в вертикальные отстойники камерах флокуляции, использующих как избыточный активный ил, так и биопленку. Эффективность первичного осветления воды после ее 20-минутной обработки в камере биофлокуляции повышалась до 65—75% по взвешенным веществам и 40—45% по снижению БПК. Однако механический перенос полученных в вертикальных отстойниках результатов на запроектированные и построенные отдельно стоящие преаэраторы сточных вод с активным илом, а также встроенные конструкции в радиальные и горизонтальные отстойники не позволил получить в них аналогичные результаты.

Обширные исследования, проведенные кафедрой водоотведения МГСУ в области изучения закономерностей процессов седиментации и гидродинамических условий ее реализации, позволили разработать и оптимизировать технологию первичного осветления сточных вод с использованием избыточного ила как биофлокулянта, которая обеспечивает повышение содержания оседающих веществ в любой сточной воде до 85 — 90% и снижение БПК в осветленной воде на 40 -50%. Возможная конструктивная схема реализации этой технологии в радиальном первичном отстойнике приведена на рис. 4.23.

Размещенная в центральной части радиального отстойника зона биофлокуляции позволяет обеспечить при 20-минутном пребывании сточной воды эффективный контакт между частицами мелкодисперсной взвеси и активного ила.

Имеющийся гидродинамический потенциал входящего потока дополняется устройством аэратора в виде дырчатых труб, что в совокупности обеспечивает в зоне биофлокуляции необходимый градиент скорости перемешивания $50-60 \text{ с}^{-1}$.

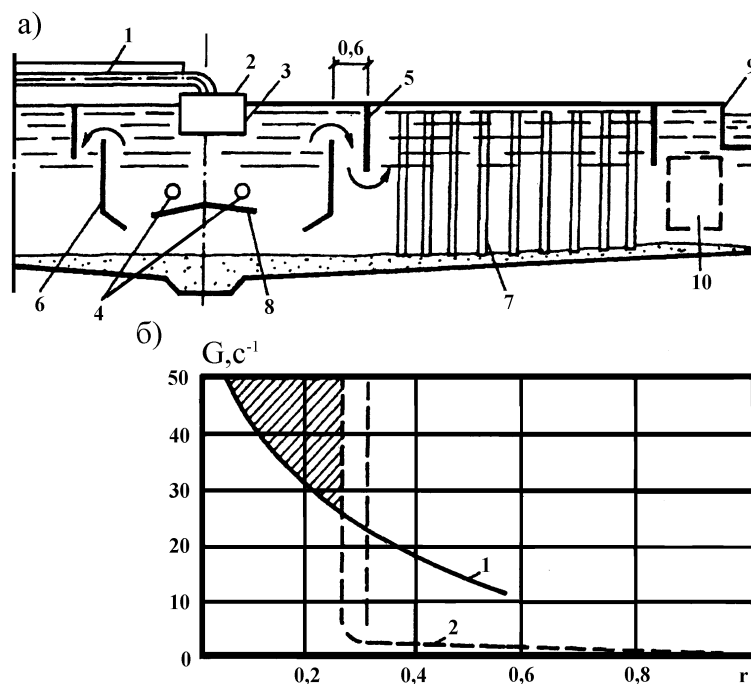


Рис. 4.23. Схема радиального отстойника с камерой биофлокуляции (а) и распределения градиентов скорости до (кривая 1) и после реконструкции (кривая 2) (б): 1 – подвод сточной воды и активного ила; 2 – распределительная камера; 3 – зона биофлокуляции; 4 – дырчатые аэраторы; 5 – полупогружная перегородка; 6 – затопленные перегородки; 7 – низкоградиентная мешалка; 8 – защитный зонтик; 9 – сборный водослив; 10 – тонкослойные блоки перекрестной схемы

Из зоны биофлокуляции сточная вода проходит под перегородкой зоны воздухоотделения, где отделяются прилипшие пузырьки воздуха, способные в дальнейшем ухудшить условия седиментации.

В зоне осветления отстойника процесс седиментации стимулируется низкоградиентным перемешиванием, которое при $G = 1-2 \text{ с}^{-1}$ обеспечивает оптимальные условия для осаждения взвешенных веществ и уплотнения образующегося осадка. Расположенные на периферии отстойника тонкослойные блоки перекрестной схемы осаждения осветляют воду на завершающей стадии, перед ее поступлением в сборный лоток.

Наряду с использованием биофлокулирующих свойств избыточного активного ила интенсификация работы первичных отстойников возможна также за счет применения непрерывной откачки выпадающего осадка с его последующим уплотнением в отдельном осадкоуплотнителе. Преимущества данной технологии заключаются в поддержании практически нулевого (не более высоты скребков) слоя осадка на днище отстойника и повышения тем самым эффекта осветления воды. Кроме того, быстрое удаление выпадающего осадка, особенно при условии тщательной «зачистки» всего днища скребками, позволяет избегать так называемого залеживания осадка с его последующим анаэробным распадом и попаданием в осветляемую воду трудноосадимых продуктов разложения.

Аналогичное отрицательное воздействие на процесс первичного осветления оказывает широко применяемая в технологических схемах станций аэрации рециркуляция в первичные отстойники сливной воды после уплотнителей сброженного осадка из метантенков. Продукты анаэробного распада, отмытые из сброженного осадка для улучшения его влагоотдачи, обладают крайне низкой способностью как к осаждению, так и к всплыванию, что приводит к образованию неоседающих затопленных линз тонкодисперсной взвеси и ее повышенному выносу из первичных отстойников.

Кроме выделения оседающих веществ, в первичных отстойниках задерживаются также всплывающие вещества, представляющие собой в основном различные виды нефтепродуктов. Так по результатам производственных испытаний, проведенных на КСА, эффективность снижения концентрации нефтепродуктов в сточной воде после первичного отстаивания составляет около 50%. Однако всплывающие вещества вместе с осадком направляются на сбрасывание в метантенки, где нефтепродукты практически не распадаются, а лишь эмульгируются, создавая дополнительные трудности при последующей обработке осадка и рецикле

сливной воды. Поэтому с технологической точки зрения заслуживает внимания опыт рециркуляции задержанных в первичных отстойниках плавающих веществ в поток сточных вод перед мелкопрозорчатыми решетками, которые имеют практически постоянно подслои отбросов на своих стержнях, который эффективно задерживает плавающие вещества. В последующем, вместе с отбросами, задержанные на них плавающие вещества отправляются на захоронение и выводятся тем самым из технологического цикла.

В последние годы достигнут также прогресс в совершенствовании конструкций устройств для удаления плавающих веществ с поверхности радиальных отстойников, наиболее распространенных на станциях аэрации. Качающиеся приемные бункеры, затапливаемые при прохождении над ними фермы скребка и собирающие таким образом плавающие вещества, вместе со значительным количеством воды обеспечивали влажность удаляемой смеси порядка 97%. На КСА была разработана и успешно испытана в производственных условиях конструкция приемного бункера, борта которого постоянно находятся выше уровня воды в первичном отстойнике (рис 4.24).

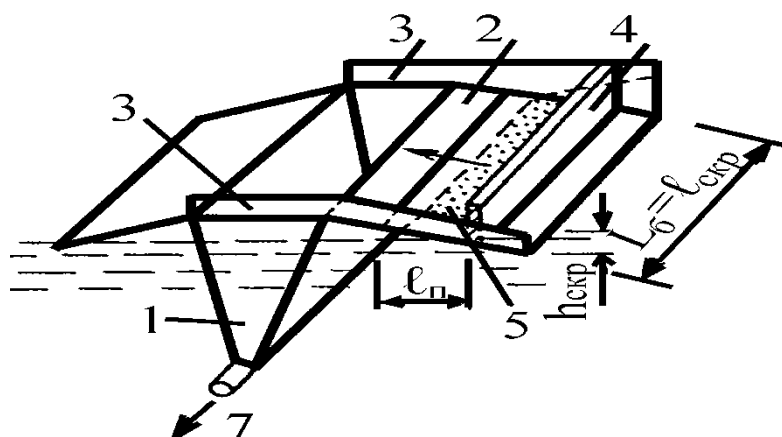


Рис. 4.24. Схема приемного бункера: 1 – бункер; 2 – пандус; 3 – борт; 4 – скребок; 5 – удаляемый илам; 6 – труба для выпуска илама из бункера

Плавающие вещества, подгребаемые к бункеру скребком, попадают в него через наклонный пандус, на котором происходит обезвоживание удаляемой массы. Для обеспечения самотечной выгрузки задержанных

загрязнений они могут дозированно разбавляться водой. Конечная влажность выгружаемой с поверхности массы загрязнения не превышает 92%.

Тема 5. Сооружения биологической очистки сточных вод

Очистка сточных вод на аэротенках

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 содержавшихся в ней загрязнений.

В живой микробиальной 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 микробиальных клеток, различных промежуточных или конечных продуктов, на проведение которых расходуется энергия, получаемая микробиальной 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 микробиальная 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 слаборастворимых 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 микробиальной 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. 5.1 видно, что отмеченным фазам роста микробиальной 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).

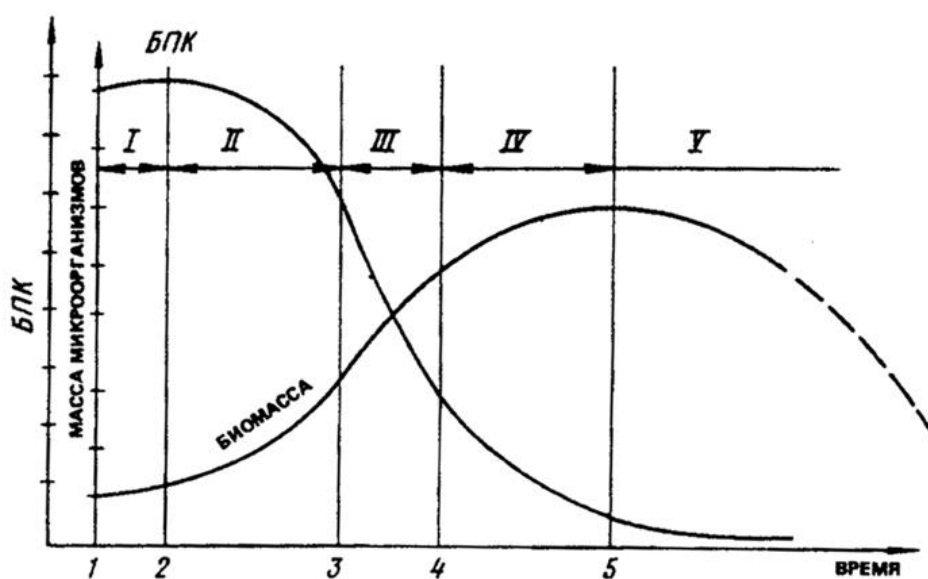


Рис. 5.1. Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ.

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:

$$q_i = L_{en} / a_i (1 - s) t_{at} \quad (5.1)$$

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 определяется в мг или г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч

$$\rho_i = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) t_{at} \quad (5.2)$$

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.

$$OC_{at} = 24a_i (1 - S)\rho_i, \quad (5.3)$$

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:

$$B_u = [(V_{aэp} + V_{кан}) a_i + V_{от.з} a'_i] / \Pi_p \cdot Q \quad (5.4)$$

где $V_{\text{аэр}}$, $V_{\text{кан}}$, $V_{\text{от.з}}$ – объемы соответственно аэротенков, каналов, отстойных зон сооружений илоотделения (вторичных отстойников), м^3 ;

a_i – средняя концентрация активного ила в иловой смеси в аэротенках и каналах, г/л (кг/м^3);

a_i' – средняя концентрация активного ила в отстойной зоне сооружений илоотделения, г/л (кг/м^3);

Q – расход очищаемой воды, $\text{м}^3/\text{сут}$;

P_p – прирост активного ила, г/л (кг/м^3). Опыт эксплуатации аэрационных сооружений показывает, что оптимальная активность ила обеспечивается при его возрасте в $2 \div 5$ 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 растворенного 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 м^3 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.

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.

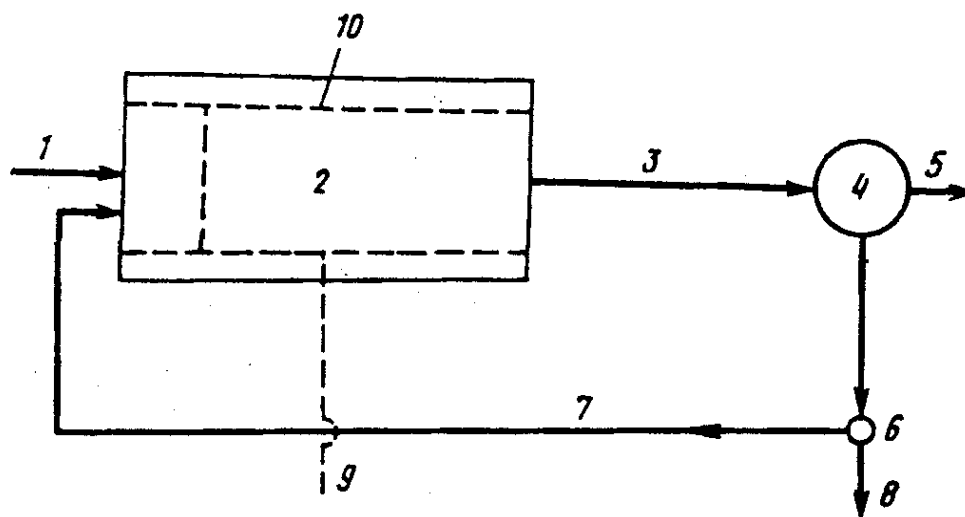


Рис. 5.2. Классическая схема биологической очистки сточных вод: 1 – сточная вода после первичных отстойников; 2 – аэротенк; 3 – иловая смесь из аэротенков; 4 – вторичный отстойник; 5 – очищенная вода; 6 – иловая камера; 7, 8 – циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 – воздух из воздуходувок; 10 – аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке.

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. 5.2).

По этой схеме активный ил подаётся сосредоточенно на вход в аэротенк, туда же подаётся и подлежащая биологической очистке сточная вода после первичного отстаивания. В результате смешения воды и активного ила образуется иловая смесь.

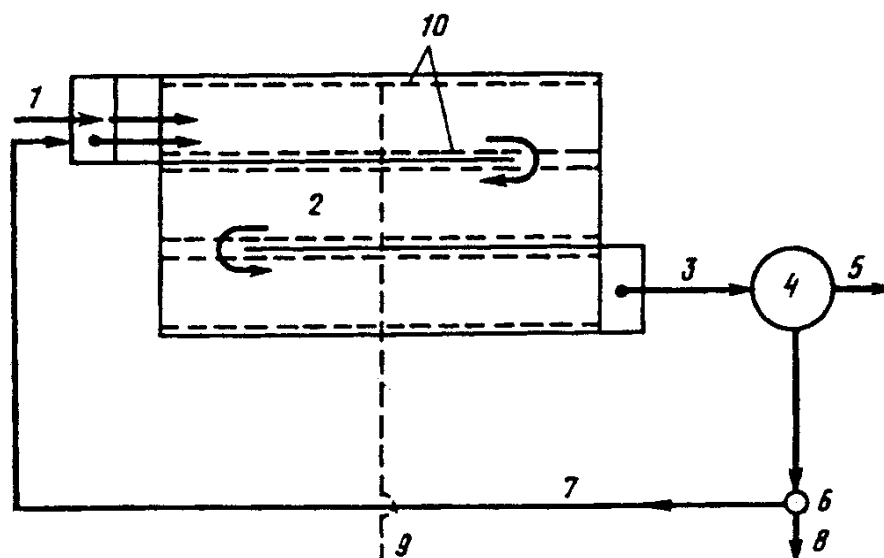


Рис. 5.3. Аэротенк-вытеснитель (см. позиции на рис. 5.2).

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, благодаря чему такие аэротенки получили название аэротенков-вытеснителей (рис. 5.3);

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. 5.4).

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.

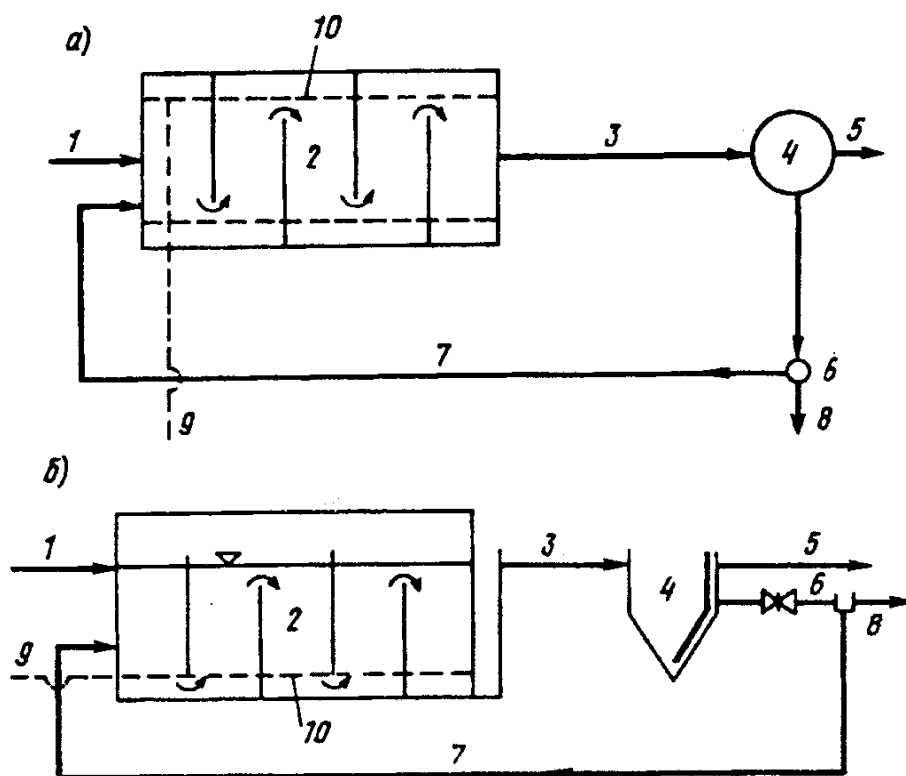


Рис. 5.4. Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками (см. позиции на рис. 5.2): а – не достигающими до противоположной стены; б – поочередно не достигающими до дна и до уровня воды в аэротенке.

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. 5.5).

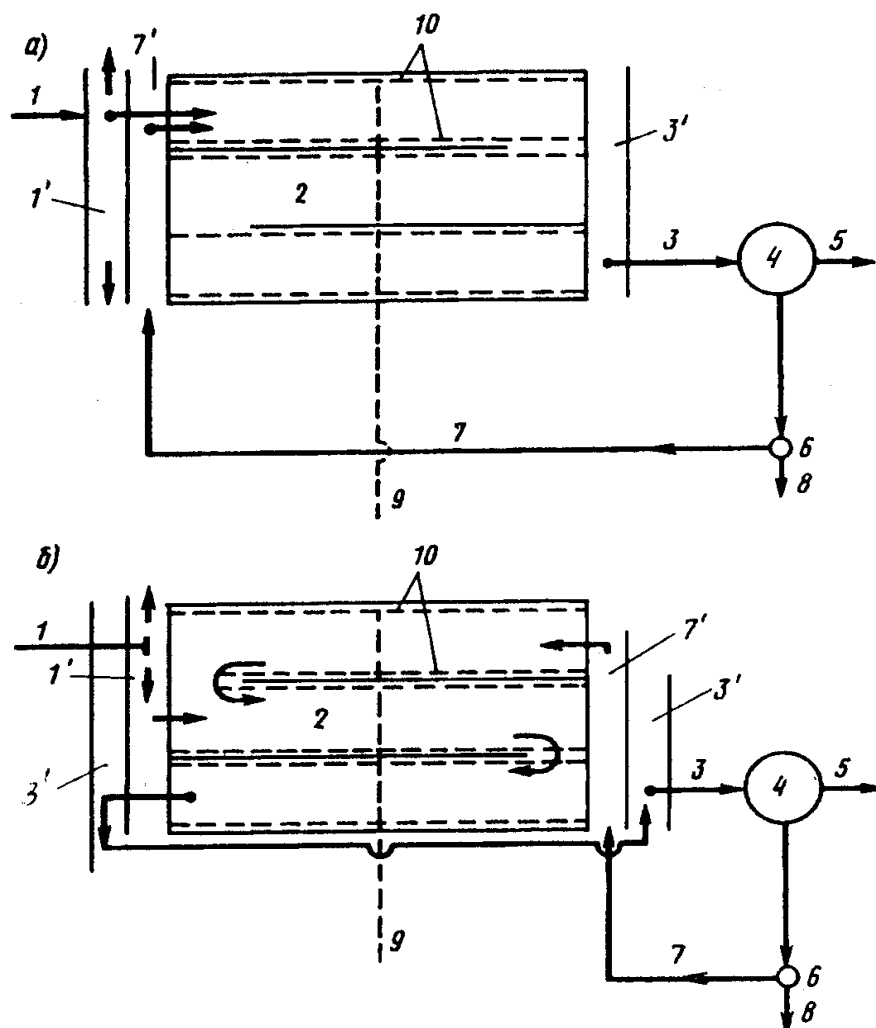


Рис. 5.5. Аэротенк-вытеснитель без регенерации (а) и с регенерацией (33 %) – (б): 1' - канал сточной воды на биологическую очистку; 3' - канал иловой смеси; 7' - канал циркуляционного активного ила (см. позиции на рис. 5.2).

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 которых находится активный ил. Главное преимущество этих сооружений заключается в возможности сглаживания залповых или шоковых нагрузок на активный ил, в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Это происходит за 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. 5.6, а, б).

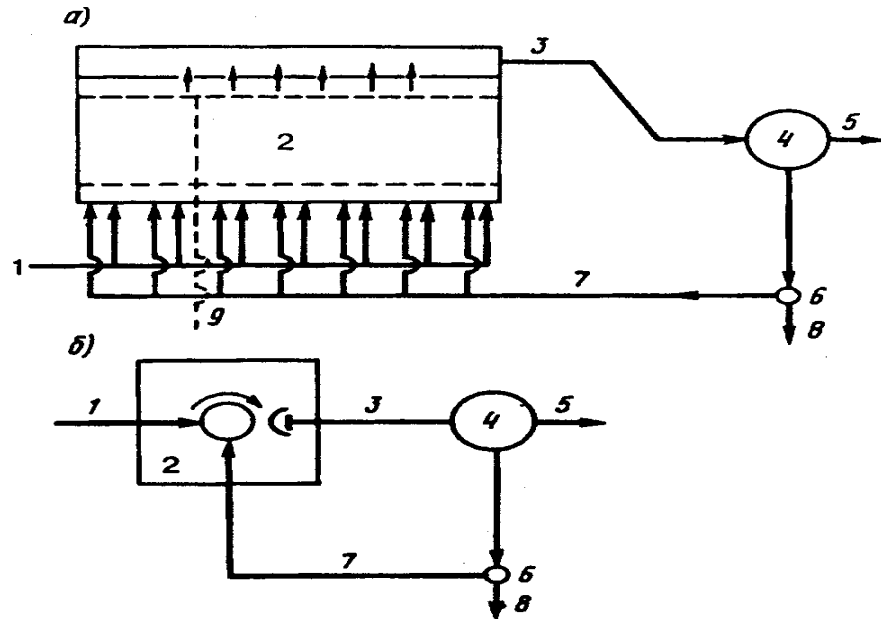


Рис. 5.6. Аэротенк-смеситель (см. позиции на рис. 5.2): а – с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения; б – с центральным подводом воды и ила в аэрационную зону 5).

Аэротенки с рассредоточенной подачей воды являются сооружениями, занимающими промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями (рис. 5.7).

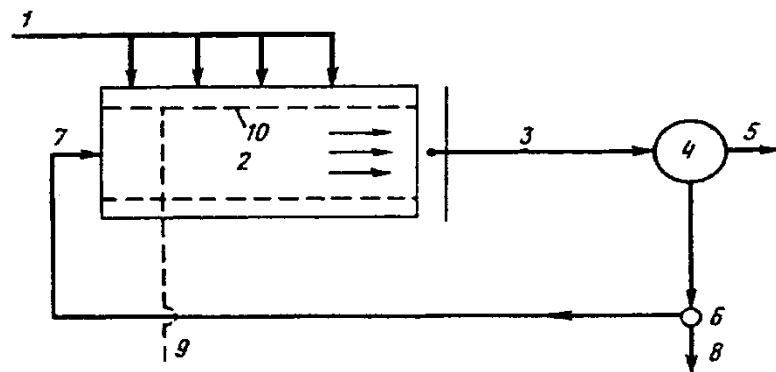


Рис. 5.7. Аэротенк с рассредоточенным впуском воды на очистку

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.

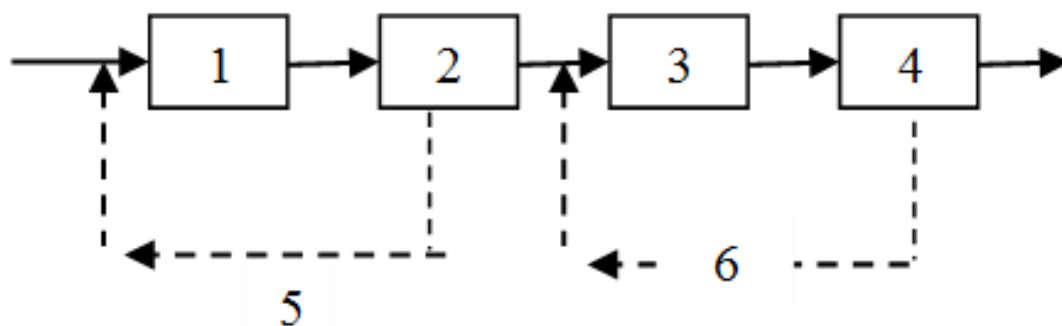


Рис. 5.8. Схема работы двухступенчатых аэротенков: 1 – аэротенк первой ступени; 2 – вторичный отстойник; 5 – аэротенк второй ступени; 4 – третичный отстойник

В ряде случаев, особенно при наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко разнящимися 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. 4.8). Практически всегда в качестве аэротенков второй и третьей ступени (т.е. последней ступени биологической очистки) применяются аэротенки - вытеснители (хотя могут применяться и аэротенки с рассредоточенным впуском воды в них) для обеспечения постоянства качества очистки. 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*.

Тема 6. Аэротенки

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 поперечные размеры аэротенков и с высокой степенью гибкости вводить при необходимости регенерацию: от 25% до 75% (в зависимости от числа коридоров в каждой секции аэротенков). 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. 6.1 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. Четырехкоридорные аэротенки позволяют отводить под регенераторы от 1 до 3 коридоров, т.е. аэротенки могут работать с 25%-ной, 50%-ной, 75%-ной регенерацией.

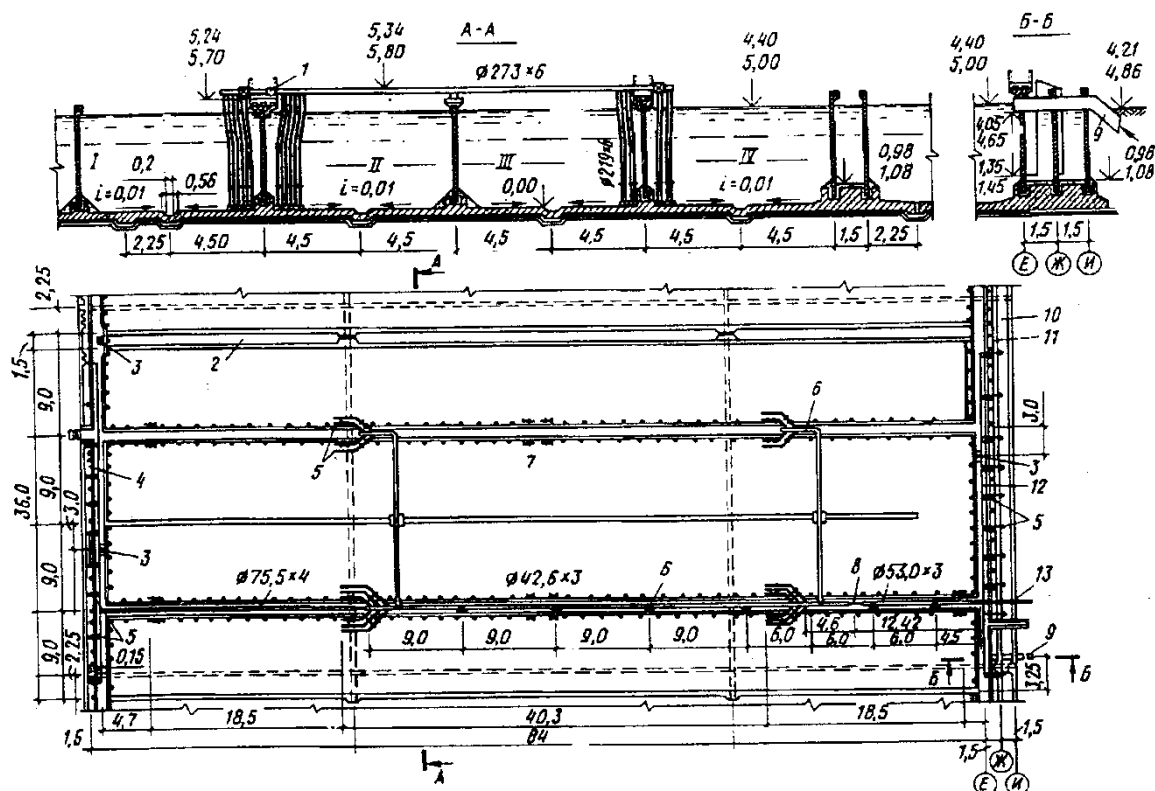


Рис. 6.1. Типовой четырёхкоридорный аэротенк (диаметры указаны в мм): 1 – воздухопровод; 2 – средний канал; 3 – щитовой затвор; 4 – верхний канал осветленной воды; 5 – воздушные стояки; 6 – скользящая опора; 7 – водовыбросные стояки; 8 – трубы Вентури; 9 – трубопровод циркуляционного активного ила (от распределительной камеры); 10 – распределительный канал вторичных отстойников; 11 – нижний канал осветленной воды; 12 – воздухопровод на канале; 13 – воздухопровод секции.

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

Для удаления воды из-под фильтросных 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. 6.2), что позволяет до минимума свести длину связывающих эти сооружения коммуникаций. На рис. 6.3 показан аэротенк-смеситель, разработанный Гипрокоммунводоканалом. Аэротенк включает два коридора, один из которых является собственно аэротенком, а другой – регенератором активного ила.

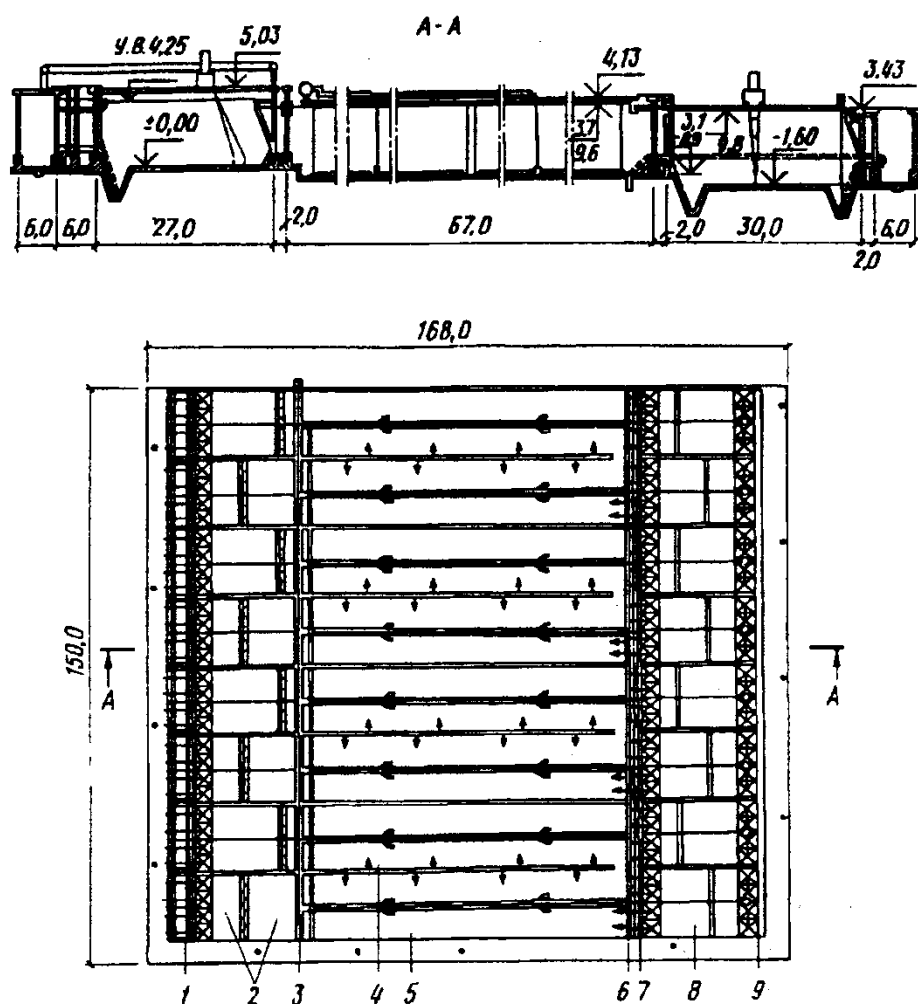


Рис. 6.2. Единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками: 1 – преаэратор; 2 – первичные отстойники; 3 – распределительный канал аэротенков; 4 – распределительный

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.

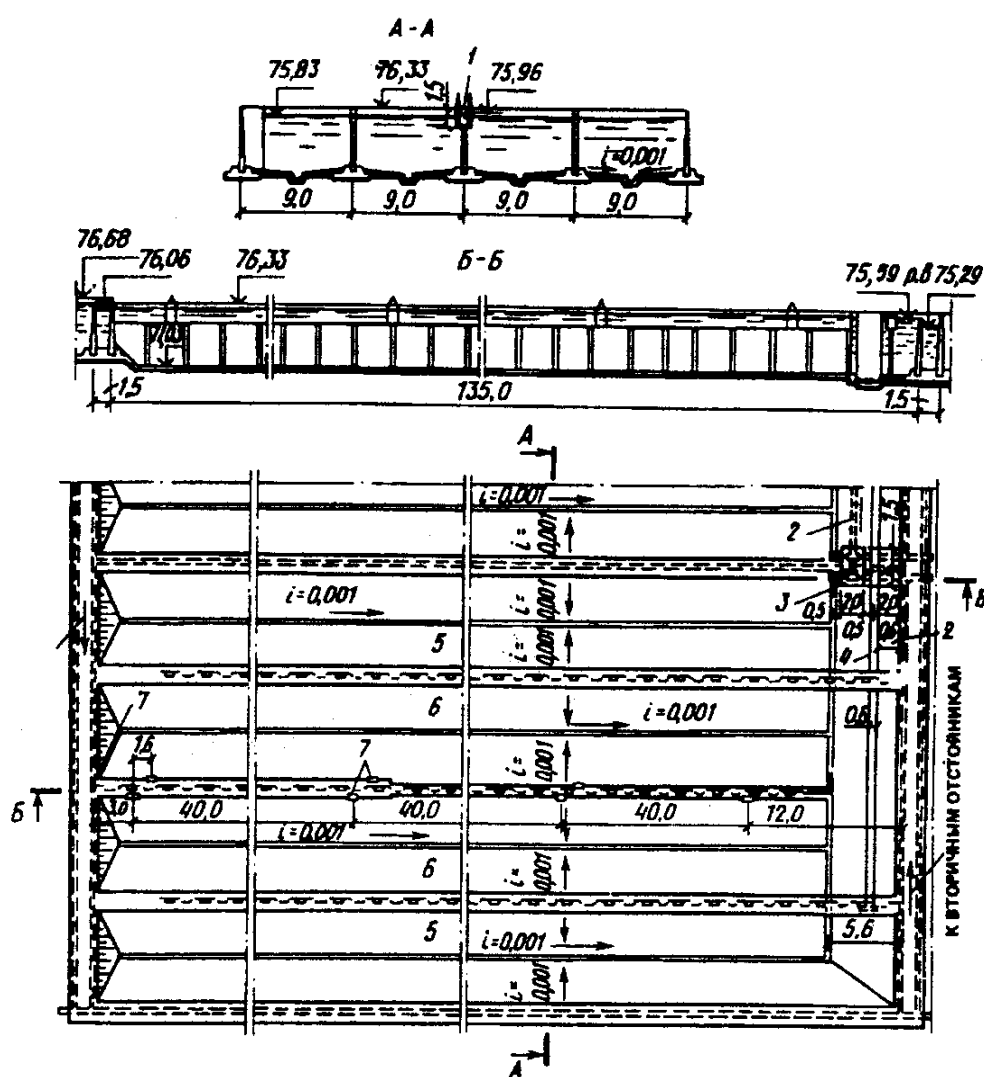


Рис. 6.3. Аэротенк-смеситель: 1 – распределительный лоток; 2 – трубопровод опорожнения аэротенков и вторичных отстойников; 3 – камера задвижек опорожнения; 4 – лоток активного ила; 5 – регенераторы; 6 – аэротенки; 7 – щитовые затворы

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.

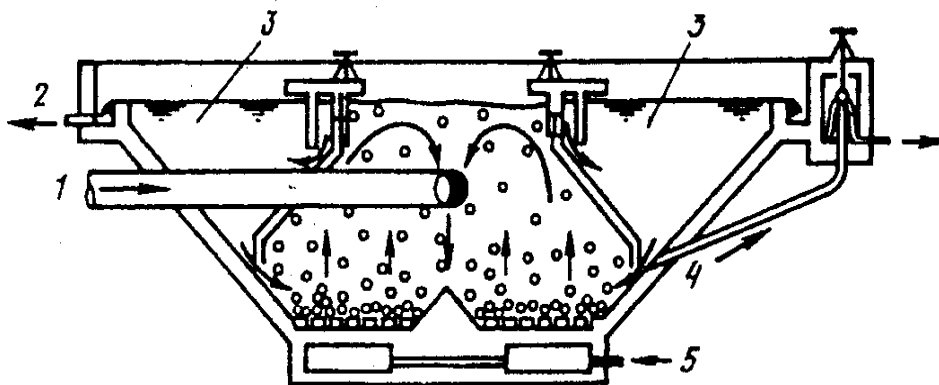


Рис. 6.4. Оксиконтакт: 1 – впуск сточной воды; 2 – отвод очищенной воды; 3 – зона отстаивания; 4 – удаление (сброс) активного ила; 5 – воздух

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 «Оксиконтакт», разработанная французской фирмой "Дегремон" (рис. 6.4).

Сточная вода после первичных отстойников подается в распределительный трубопровод, находящийся в центре прямоугольного в плане резервуара. С обеих сторон аэрационной зоны расположены отстойные зоны, 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 примыкают к наклонной внешней стенке азротенка, 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 азротенки-отстойники круглой в плане формы с концентрическими зонами аэрации и отстаивания. На рис.6.5 представлена конструкция, в которой сточная вода подается в центр зоны аэрации, где имеет место наиболее высокая степень турбулизации жидкости под действием пневмомеханического азратора или пневматического азратора.

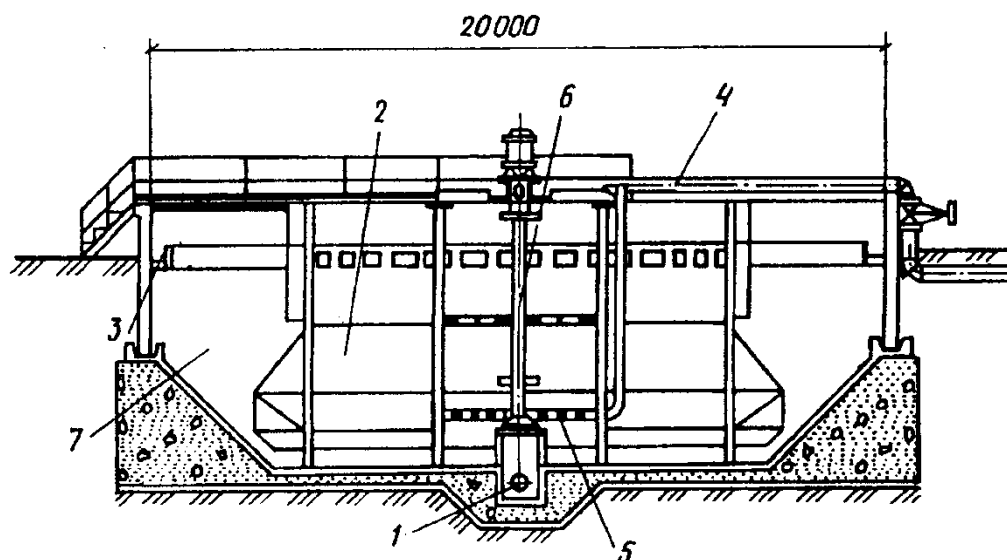


Рис. 6.5. Азротенк-отстойник радиальный: 1 - трубопровод для подачи сточных вод; 2 - зона аэрации; 3 - лоток осветленной воды; 4 - воздуховод; 5 - кольцевой перфорированный азратор; 6 - диспергатор-мешалка; 7 - зона отстаивания.

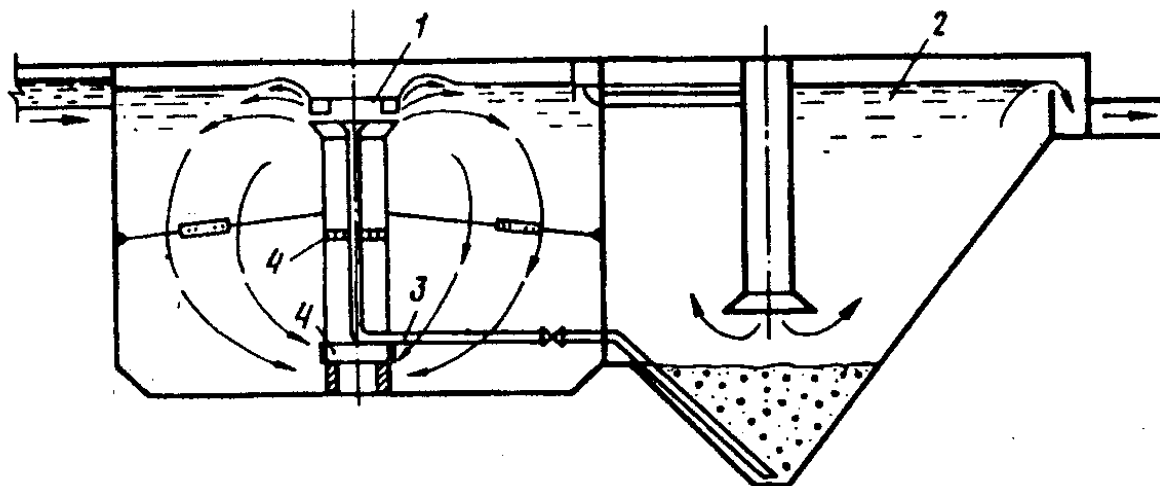


Рис. 6.6. Схема использования механического поверхностного аэратора дискового типа со стабилизатором потока для подачи ила из отстойной в аэрационную зону: 1 – зона аэрации; 2 – отстойник; 3 – трубопровод для подкачивания ила; 4 – окна для впуска жидкости

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. 6.6).

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.

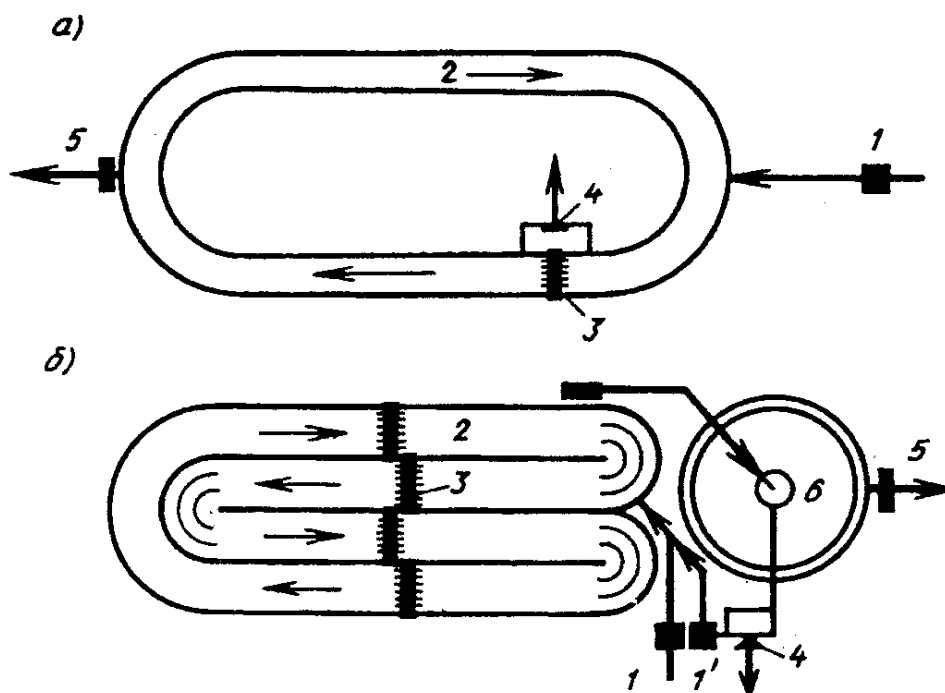


Рис. 6.7. Окислительный канал без вторичного отстойника (а) и с вторичным отстойником (б): 1 – насосная станция; 1' – то же, возврата ила в ЦОК; 2 – ЦОК; 3 – горизонтальный аэратор; 4 – удаление избыточного активного ила; 5 – отведение очищенной воды; 6 – вторичный отстойник

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) представляют собой замкнутый канал трапецеидального или прямоугольного сечения, в плане овальной формы, по которому циркулирует иловая смесь со скоростью 0,25 – 0,3 м/с. Такая скорость предотвращает осаждение активного ила и обеспечивается горизонтальными цилиндрическими аэраторами, устанавливаемыми поперек канала (рис. 6.7).

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

Средняя продолжительность пребывания ила в нем составляет около 4 сут, что позволяет обеспечить значительную его минерализацию. В зависимости от расхода очищаемой жидкости применяются как схемы без вторичного отстаивания (рис. 6.7 а), так и схемы с вторичным отстаиванием (рис. 6.7 б).

Окситенки. В окситенках для обеспечения аэробных условий в сооружениях биологической 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. 6.8). 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.

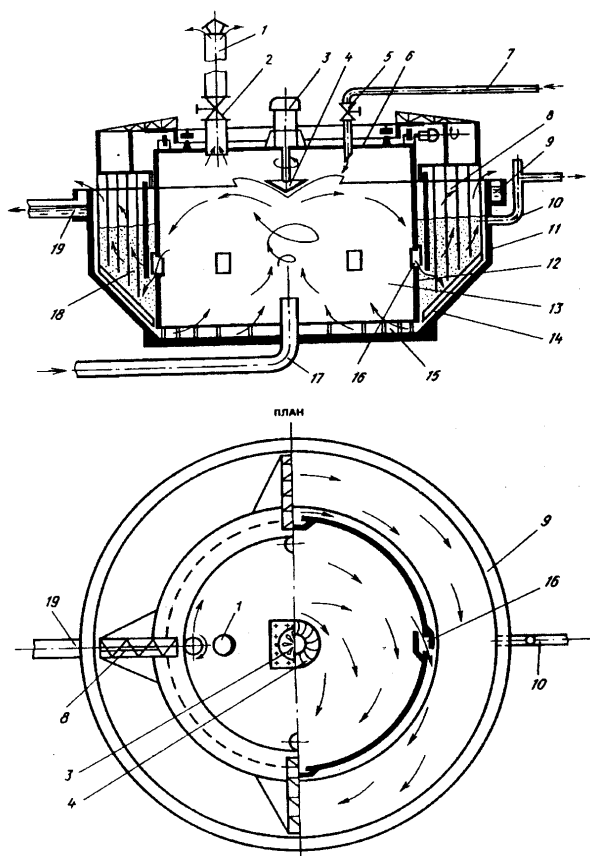


Рис. 6.8. Окситенк: 1 – продувочный трубопровод; 2 и 5 – задвижки с электрическим приводом; 3 – электродвигатель; 4 – турбоаэратор; 6 – герметическое перекрытие; 7 – трубопровод подачи кислорода; 8 – вертикальные стержни; 9 – сборный лоток; 10 – труба для сброса избыточного ила; 11 – круглый резервуар; 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

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.

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.

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 воздуховодом, что позволяет легко поднимать его с

помощью ручной лебедки для осмотра или замены трубок в случае их выхода из строя.



Рис. 6.9. Общий вид аэрационной системы с тарельчатыми диффузорами

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. 6.9). 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.

Для аэрации сточных вод на многих станциях аэрации устанавливаются тарельчатые аэраторы, диспергирующие воздух материалы из пористо-волокнистого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой. Диаметр такого аэратора 300 мм с той же пропускной способностью, что и у фильтросной пластины, т.е. 2-6 м³ 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.

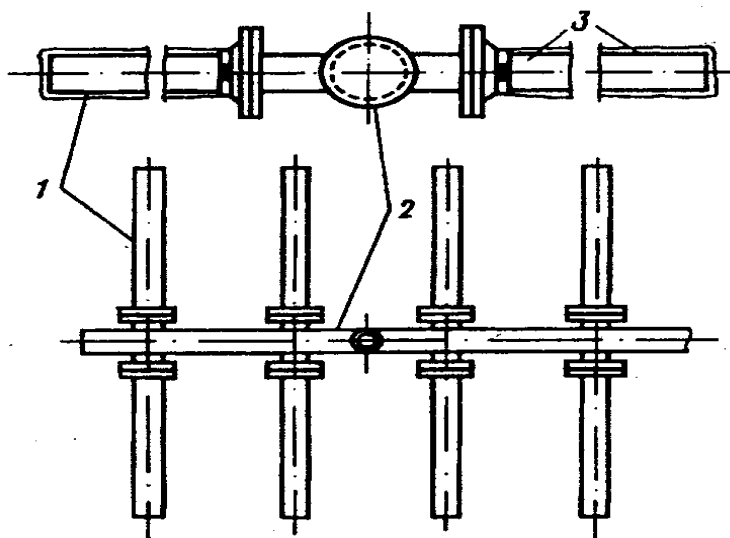


Рис. 6.10. Аэратор решетчатый тканевый: 1 – перфорированные трубки; 2 – коллектор; 3 – полиэтиленовые аэраторы

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.6.11) представляет собой изготовленный из листовой стали полый усеченный конус с расширенной частью, обращенной кверху.

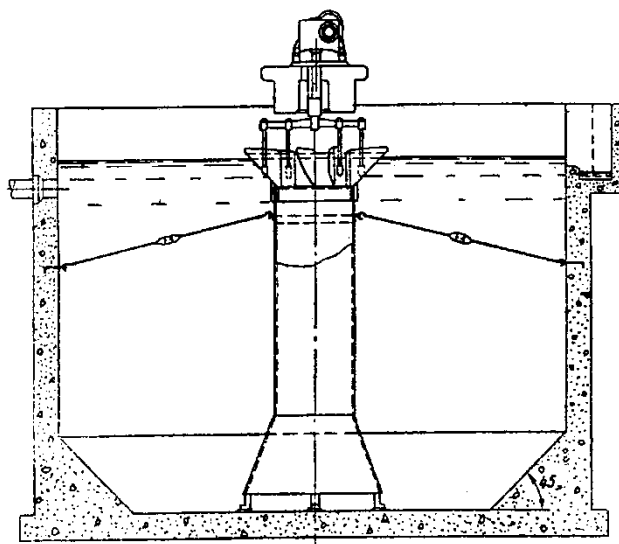


Рис. 6.11. Схема установки аэратора "Симплекс".

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 6.12).

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 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.

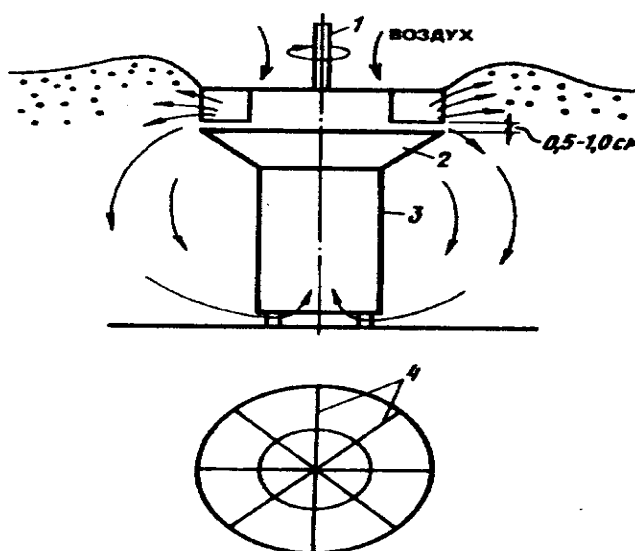


Рис. 6.12. Схема работы механического поверхностного аэратора дискового типа: 1 – вал аэратора; 2 – верхнее расширение стабилизатора; 3 – стабилизатор; 4 – лопатки аэратора

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

перемешивается.

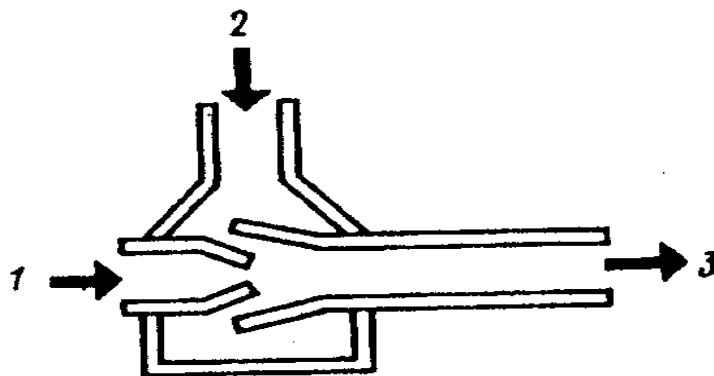


Рис. 6.13. Принцип действия эжекторного аэратора: 1 – сточная жидкость; 2 – подсос воздуха из атмосферы; 3 – водовоздушная смесь

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. 6.13).

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.

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:

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - S) \rho \quad (6.1)$$

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:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_i C_o + K_o L_{ex}} \frac{1}{1 + \varphi a_i} \quad (6.2)$$

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 О₂/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.

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{\max} C_o a_i (1 - S)} \quad (6.3)$$

$$[(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_o \ln \frac{L_{mix}}{L_{ex}}] K_p$$

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.

$$L_{mix} = (L_{en} + L_{ex}R_i)/(1 + R_i) \quad (6.4)$$

где R_i – степень рециркуляции активного ила, определяется как

$$R_i = a_i / (1000 / I_i) - a_i \quad (6.5)$$

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

$$t_o = (L_{en} - L_{ex}) / R_i a_r (1 - S) \rho \quad (6.6)$$

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

$$a_r = a_i [(1 / 2 R_i) + 1] \quad (6.7)$$

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

$$t_{at} = (2,5 / \sqrt{a_i}) \lg(L_{en} / L_{ex}) \quad (6.8)$$

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

$$t_r = t_o - t_{at} \quad (6.9)$$

Вместимость аэротенков без регенераторов определяется как

$$W_{at} = t_{at} q_w \quad (6.10)$$

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

Вместимость аэротенков при наличии регенераторов ила определяется как

$$W_{at} = t_{at}(1 + R_i)q_w \quad (6.11)$$

вместимость регенераторов

$$W_r = t_r R_i q_w \quad (6.12)$$

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

$$r = W_r \cdot 100 / W_{at} + W_r \quad (6.13)$$

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

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + K_q \alpha_{en} \quad (6.14)$$

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.

$$q_{air} = q_0(L_{en} - L_{ex}) / K_1 K_2 K_m K_3 (C_a - C_m) \quad (6.15)$$

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 ,

$$K_m = 1 + 0,02 (t_w - 20) \quad (6.16)$$

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

$$C_a = (1 + h_a / 20,6) C_T \quad (6.17)$$

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

$$Q_{air} = q_{air}q_w \quad (6.18)$$

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

$$f_{ar} = 2n_a f_{ap} \quad (6.19)$$

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 (6.15) 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:

$$J_a = q_{air}H_{at}/t_{at} \quad (6.20)$$

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 м³/(м²·ч) при $f_{ar}/f_{at} = 0,05$ до 100 м³/(м²·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 воздуховодов состоит в подборе диаметров трубопроводов и определении потерь напора в них. Скорость движения воздуха в общем и распределительном воздуховодах обычно принимают равной 10 – 15 м/с; в воздуховодах небольшого диаметра, подающих воздух в лотки под фильтросы, – 4 – 5 м/с

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

$$h = h_{тр} + h_m = \frac{\lambda l}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma + \frac{\zeta v^2}{2g} \gamma = \left(\frac{\lambda l}{D} + \zeta \right) \frac{v^2}{2g} \gamma \quad (6.21)$$

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/с²;

γ – плотность воздуха, кг/м³;

ζ – суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Суммарное значение местных сопротивлений и сопротивлений на трение в воздуховодах не должно превышать 0,3 – 0,35 м.

Сопротивление пластин фильтросных быстро возрастает по мере

эксплуатации, поэтому при определении общего напора воздуходувки сопротивление проходу воздуха через фильтросные пластины следует принимать 500 – 800 мм.

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

$$H_{\text{общ}} = h_{\text{мп}} + h_{\text{м}} + h_{\text{ф}} + h_{\text{а}} \quad (6.22)$$

где $h_{\text{а}}$ – глубина воды в аэротенке (от поверхности воды до поверхности диффузора).

На воздуходувной станции следует устанавливать не менее двух воздуходувок – рабочую и запасную. Для обеспечения маневренности во время эксплуатации лучше устанавливать 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.

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:

$$n_{\text{аэр}} = \frac{q_0 q_w (L_{\text{ен}} - L_{\text{ex}})}{K_3 K_1 [\text{OC}] d} \quad (6.23)$$

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

$$d = (C_{\text{а}} - C_0) / C_0 \quad (6.24)$$

Число аэраторов из условия обеспечения перемешивания иловой смеси определяется как

$$n'_{aэp} = f_{at} / LB_{at} \quad (6.25)$$

где f_{at} – площадь аэротенков, m^2 ; L – длина зоны, обслуживаемой одним аэратором, м, принимается по каталогам производителей аэраторов; B_{at} – ширина коридора аэротенка, м.

Биофильтры

Биологический фильтр (биофильтр) – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической плёнкой (биоплёнкой), образованной колониями микроорганизмов (рис. 6.14).

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.

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.

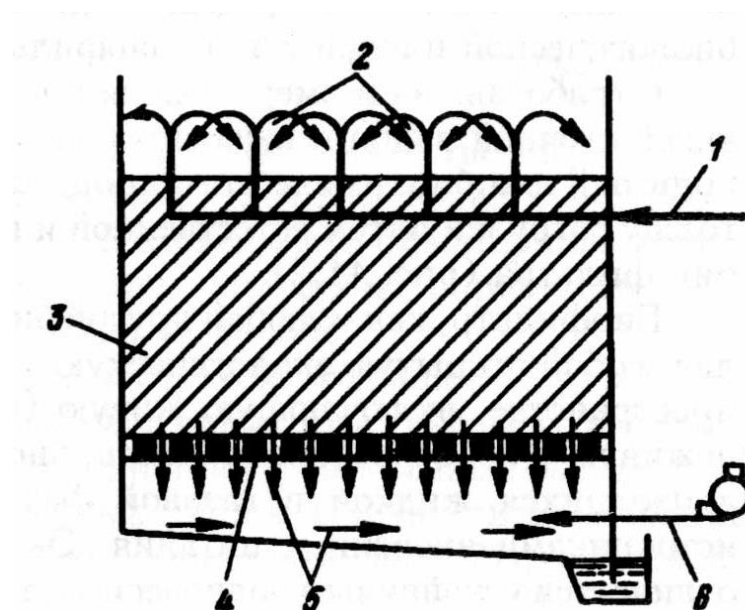


Рис. 6.14. Схема биологического фильтра: 1 - подача сточных вод; 2 - водораспределительное устройство; 3- фильтрующая загрузка; 4 - дренажное устройство; 5 - очищенная сточная вода; 6 – вентиляционное устройство

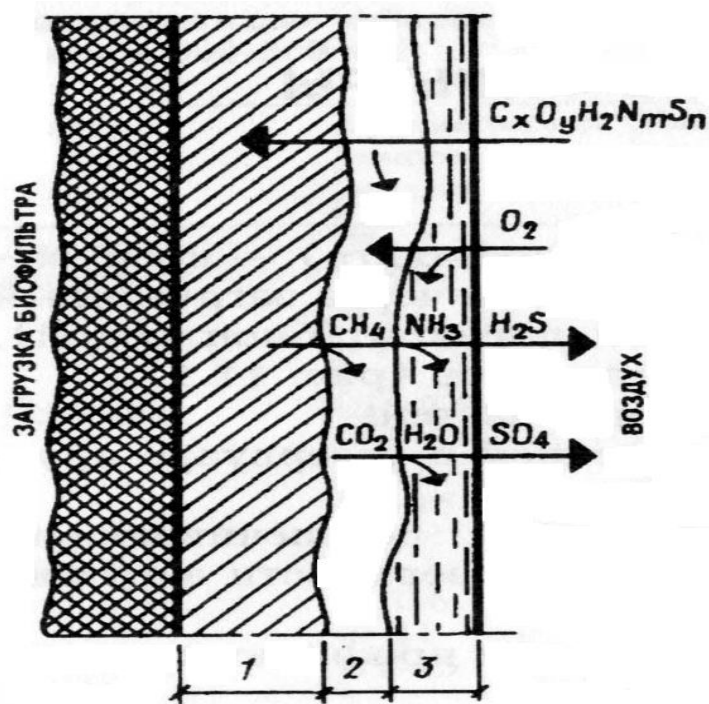


Рис. 6.15. Схема обмена веществ в элементарном слое биофильтра: 1 - анаэробный слой биопленки; 2 - аэробный слой биопленки; 3 - слой сточной воды

Процессы биологического окисления органических загрязнений в биофильтрах протекают значительно интенсивнее за счёт увеличенной пористости загрузочного материала, по сравнению с пористостью почв.

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

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 - 4м; 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 асбестоцементных листов; плотность пластмассовой загрузки 40-100 кг/м³, 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 кг/ м³, 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 м³ на 1 м³ объема загрузочного материала в сутки. Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более 1000 м³/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 тыс.м³/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 загрузочных материалов позволило значительно повысить производительность биологических фильтров представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Плоскостные загрузочные материалы

Загрузка	Страна изготовитель	Плот- ность, кг/м ³	Пори- стость, %	Удель- ная поверх- ность, м ² /м ³	Масса, кг/м ²	Мате- риал
1	2	3	4	5	6	7
<i>Полигрид</i>	США	80	95	45	1,77	Поли- стирол
<i>Доупак</i>	США	60	94	82	0,73	Саран
<i>Сэфпак</i>	США	48-64	94	90-187	0,17- 0,78	ПС
<i>Клоизонил I,II</i>	Франция	70-80	94-95	180-220	0,36- 0,39	ПВХ
<i>Корозил</i>	США	43-68	95-97	122	0,45	ПВХ
<i>Пласдек</i>	Швеция	28-70	95-98	100-230	0,19- 0,30	ПВХ
<i>Фловик А,В,С</i>	Великобрита-	38-76	95-97	86-160	0,44-	ПВХ

Загрузка	Страна изготовитель	Плот- ность, кг/м ³	Пори- стость, %	Удель- ная поверх- ность, м ² /м ³	Масса, кг/м ²	Мате- риал
1	2	3	4	5	6	7
	ния				0,48	
<i>Гидропак</i>	Германия	31-67	94-98	200	0,16-0,4	ПВХ
<i>Зульцер</i>	Швейцария	140	90	450	0,31	ПВХ
<i>Биопак</i>	-	75	93	124	0,60	ПС
<i>НСВ</i>	-	41	96	73	0,56	ПС
<i>Сложная волна</i>	СССР	40	96	80	0,50	ПЭ
<i>Флокор Е, М, Р</i>	Великобрита- ния	39-70	96	90-330	0,21- 0,43	ПВХ
<i>Эвалпорит</i>	Германия	50	94	160	0,31	ПВХ
<i>Кларпак ВР-Т</i>	Польша	28	98	135	0,21	ПВХ
<i>ЗОЗП</i>	РФ	60	95	120	0,5	ПЭ
<i>Трак</i>	РФ	20	97	140	0,14	ПВХ
<i>Тракпор</i>	РФ	48	94	187	0,25	ПВХ

Плотность плоскостных загрузочных материалов (12,2-140 кг/м³) значительно меньше, чем традиционных из гравия или щебня (1350-1500 кг/м³), что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции биофильтров. Пористость плоскостных загрузочных материалов (87-99%) более чем вдвое выше, чем у объемных загрузок (40-50%), что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и экономить электроэнергию. Даже при одинаковой удельной поверхности активная поверхность плоскостных загрузочных материалов значительно больше за

счет отсутствия мертвых зон, образующихся при соприкосновении фракций засыпного загрузочного материала.

На производительность биофильтра большое влияние оказывает конфигурация загрузочного материала. В загрузочных 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.

Технологические схемы работы биофильтров.

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

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

На рис. 6.16, 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. 6.16, б) предназначена для очистки

сточных вод, если концентрация загрязнений по $\text{БПК}_{\text{полн}} > 300 \text{ мг/л}$.

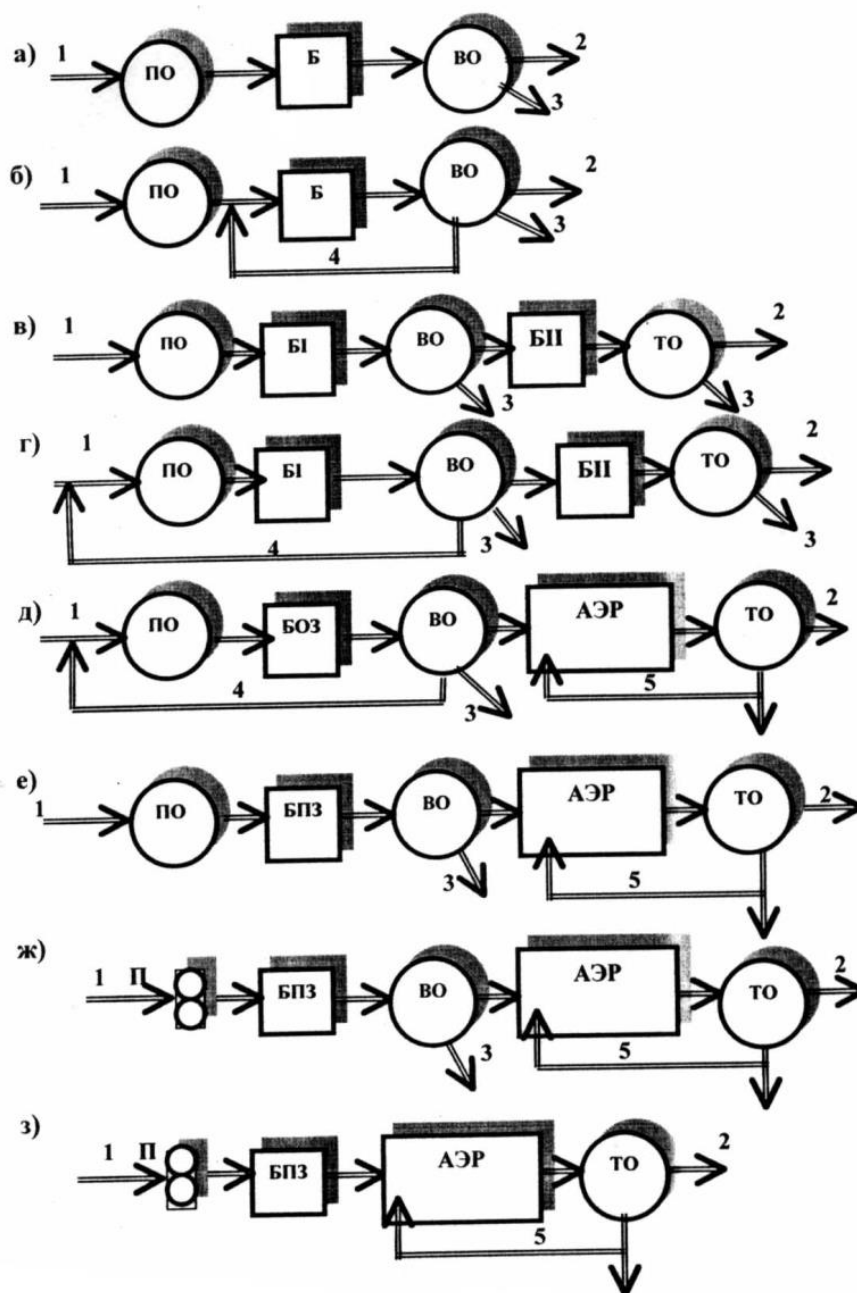


Рис. 6.16. Технологические схемы работы биофильтров: а - одноступенчатая; б - одноступенчатая с рециркуляцией; в - двухступенчатая; г - двухступенчатая с рециркуляцией; д - двухступенчатая с биофильтрами с объёмной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; е - двухступенчатая с биофильтрами 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-I — биофильтр первой ступени; Б-II — биофильтр второй

ступени; БОЗ – биофильтр с объёмной 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. 6.16, в, г, д). При этом на первой ступени используются биофильтры, а на второй – другие виды биологических окислителей, например аэротенки.

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. 6.17).

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.

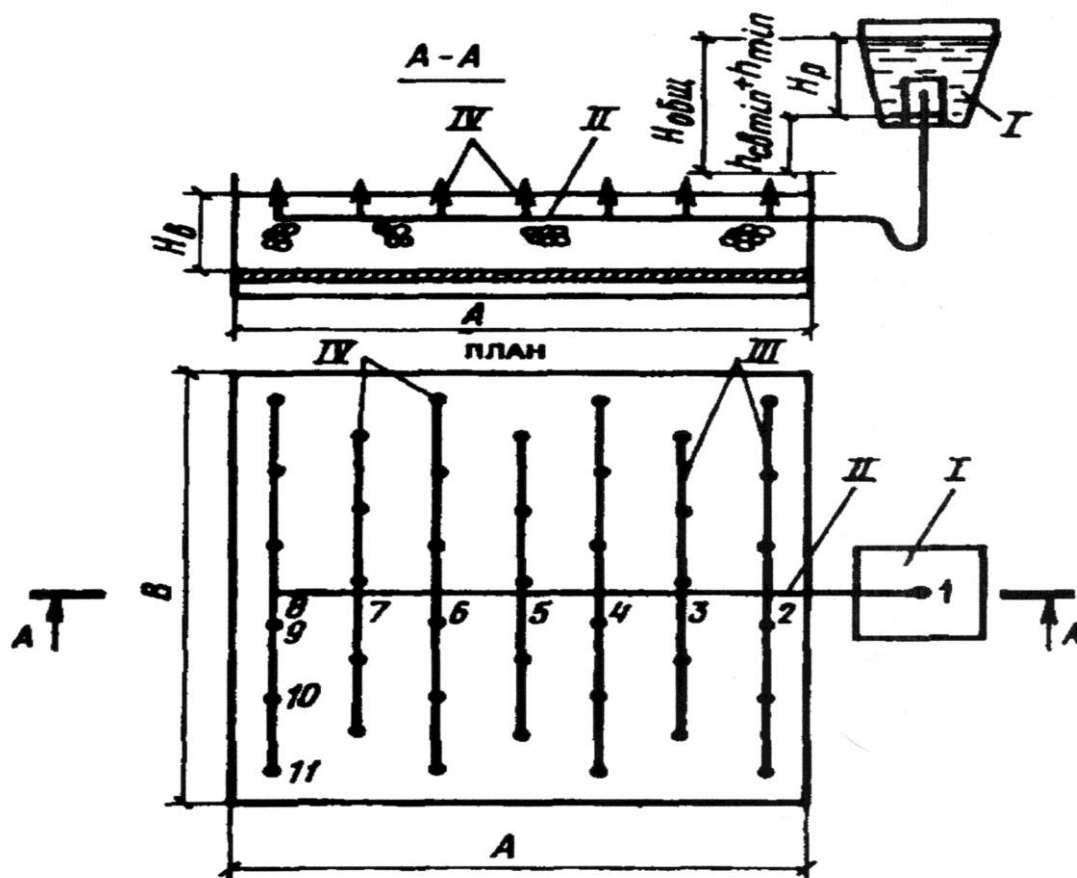


Рис. 6.17 Схема sprinkлерной водораспределительной сети биофильтра: I - дозирующий бак; II - магистральная труба; II - разводящие трубы; IV- sprinkлеры; 7-11- расчетные участки водораспределительной сети.

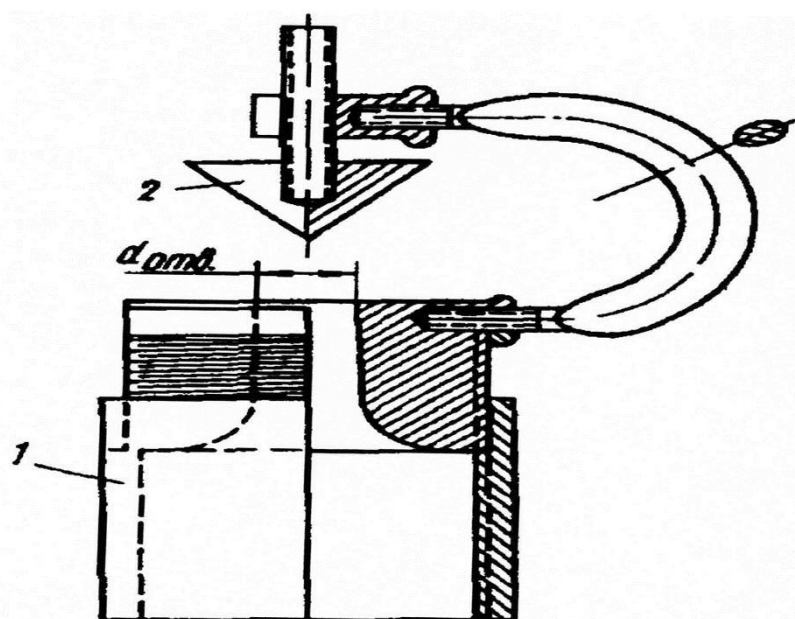


Рис. 6.18. Sprinkлерная головка: 1 корпус; 2 - отражательный зонтик

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. 6.18.

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. 6.18 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.

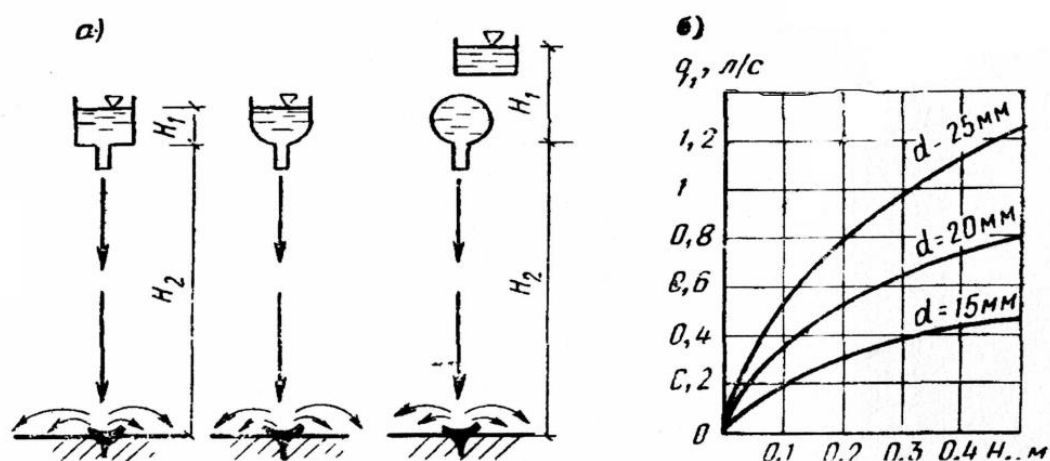


Рис. 6.19. Схема оросителей струйного типа (а) и зависимость $q = f(H_1)$ (б)

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. 6.19).

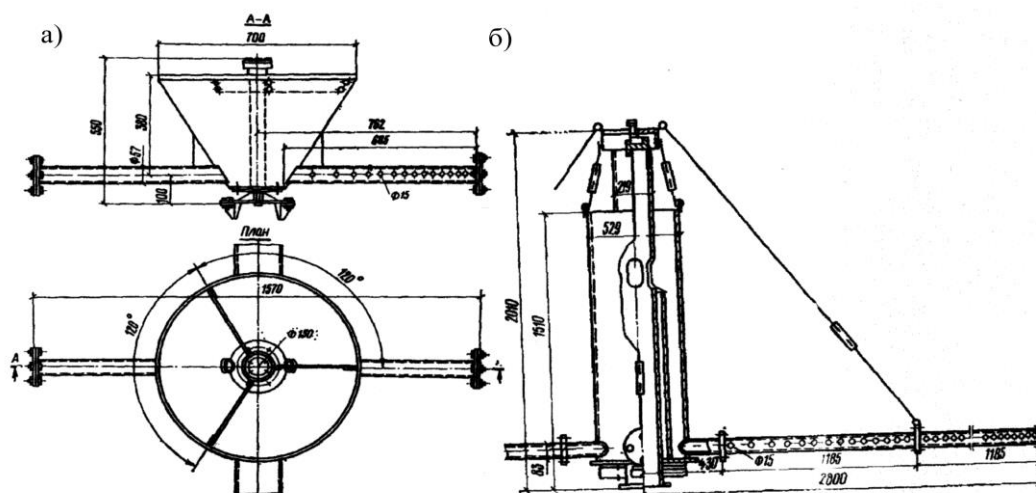


Рис. 6.19. Реактивные оросители: а - двухтрубный; б - четырёхтрубный.

Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2 - 1 м), 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.

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:

$$V_{общ} = V_{уд} \cdot Q, \quad (6.26)$$

где Q – среднесуточный расход сточной воды, м³/сут;

$V_{уд}$ – 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.

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

$$W = L_{en} \cdot Q / OM, \quad (6.27)$$

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 графоаналитический способ расчета высоконагружаемых биофильтров, в основу которого положена функциональная зависимость БПК₅ выходящей после очистки на биофильтре воды от ряда факторов:

$$L_{ex} = f(L_{en}, A, q, T, H, B) \quad (6.28)$$

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:

$$\mathcal{E} = f(\Phi) \quad (6.29)$$

$$\mathcal{E} = L_{ex} \cdot 100\% / q^{0,4} \quad (6.30)$$

$$\Phi = 10 \cdot H \cdot K_T / q^{0,4} \quad (6.31)$$

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.

$$\Phi_2 = H^x \cdot B^y \cdot K_T^C / q^z \quad (6.32)$$

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

В результате была рекомендована следующая формула для определения параметров биофильтров:

$$\lg(L_{en}/L_{ex}) = \alpha \cdot H \cdot B^{0,6} \cdot K_t / q^{0,4} + \beta \quad (6.33)$$

где α и β - постоянные коэффициенты,

$$K = 10^{\alpha \cdot \Phi + \beta} \quad (6.34)$$

где Φ - критериальный комплекс, определяемый по формуле

$$\Phi = H \cdot B_{y\partial} \cdot 0,6 \cdot K_T / q^{0,4} \quad (6.35)$$

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

$$K_t = 0,2 \cdot 1,047^{T-20} \quad (6.36)$$

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:

$$L_{ex} = f(L_{en}, q_{pf}, S_{y\partial}, T, B, H, P) \quad (6.37)$$

где q_{pf} - гидравлическая нагрузка, м³/(м²сут);

S - удельная поверхность загрузочного материала, м²/м³;

T - температура сточной воды; °C;

B - расход воздуха, м³ на 1 м³ 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 (4.41) можно записать в виде

$$L_{ex} = f(F, T, H, P) \quad (6.38)$$

где F — масса органических загрязнений по БПК₅, поступающих в сутки на единицу площади поверхности загрузочного материала биофильтра, г/(м²сут).

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{y\partial} \quad (6.39)$$

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

$$\eta = P \cdot H \cdot K_t / F \quad (6.40)$$

В табл. 6.2 приведены значения критериального комплекса η в зависимости от БПК₅ очищенной сточной воды. Полученная зависимость может быть выражена аналитически:

Таблица 6.2

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.

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 м³/(м²сут).

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

определяется коэффициент K :

$$K = L_{en} / L_{ex} , \quad (6.41)$$

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

2) по среднезимней температуре сточной воды T и значению K по табл. 6.3 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q . Если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 4.3. то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

Таблица 6.3

Параметры для расчета капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка м ³ /(м ² 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 10,0/12,8 8,0/11,5
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	6,6/10,7	6,7/10,7
2	4,9/8,2	,7/10,0	5,6/10,1	5,9/10,2
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,0/8,6	11,4/15,1 10,0/12,8 8,0/11,5

3	3,8/6,0	4,4/7,1	8,2/11,7	6,7/10,7

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

3) по расходу очищаемых сточных вод Q , м³/сут, и гидравлической нагрузке q (м³/м²сут) определяется общая площадь биофильтров S , м²:

$$S = Q/q. \quad (6.42)$$

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 м³/м²сут. Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод - 300 мг/л.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности:

- 1) определяется коэффициент K по формуле;
- 2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{уд}$ по табл. 6.4; для очистки без циркуляции значения H , q и $V_{уд}$ следует принимать по ближайшему большему значению K , для очистки с рециркуляцией - по меньшему значению K .

При очистке без рециркуляции 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 :

$$L_{mix} = K \cdot L_{ex} \quad (6.43)$$

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex}) \quad (6.44)$$

$$S = Q \cdot (n_{pec} + 1) / q \quad (6.45)$$

Таблица 6.4

Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров

Высота биофильтра, H , m	Значение K при среднезимней температуре сточной воды T , °C							
	8		10		12		14	
	и гидравлической нагрузке q , м³/(м²·сут)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При $V_{уд} = 8 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ воды}$								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При $V_{уд} = 10 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ воды}$								
2	3,69	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	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10
При $V_{уд} = 12 \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ воды}$								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	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 расчете высоконагружаемых биофильтров для сточных вод, имеющих $T < 8^\circ\text{C}$ и $T > 14^\circ\text{C}$, коэффициент K_t определяется по формуле (6.36).

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:

в зависимости от требуемого значения БПК₅ очищенных вод L_{ex} , мг/л, определяется критериальный комплекс:

$$\eta = P \cdot H \cdot K_T / F, \quad (6.46)$$

$$F = L_{en} \cdot q_n / S_{y\partial} = M / S_{y\partial}, \quad (6.47)$$

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 среднезимней 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 .

$$F = P \cdot H \cdot K_T / \eta, \quad (6.48)$$

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

$$q_n = F \cdot S_{y\partial} / L_{en} \quad (6.49)$$

3) 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. 6.5 и 6.6 (для блоков с пористостью 93-96 %); $S_{y\partial} = 90-110$ м²/м³; $L_{en} = 200-250$

мг/л).

Таблица 6.5

Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры с плоскостной загрузкой

Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, м³/ (м³ • 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 6.6

Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой

БПК ₅ очищенной воды, мг/л	Нагрузка по БПК ₅ г/ (м ³ • сут), при высоте слоя загрузки, м					
	3			4		
	и 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

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. 6.20). 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.

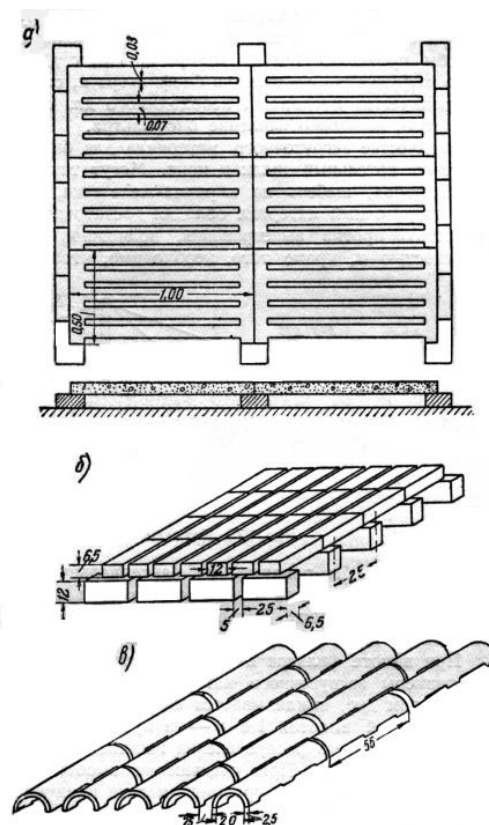


Рис. 6.20. Устройство дренажа биофильтров: а – железобетонные плиты; б – кирпичи; в – керамические трубы

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. 6.21 показан капельный биофильтр прямоугольной формы.

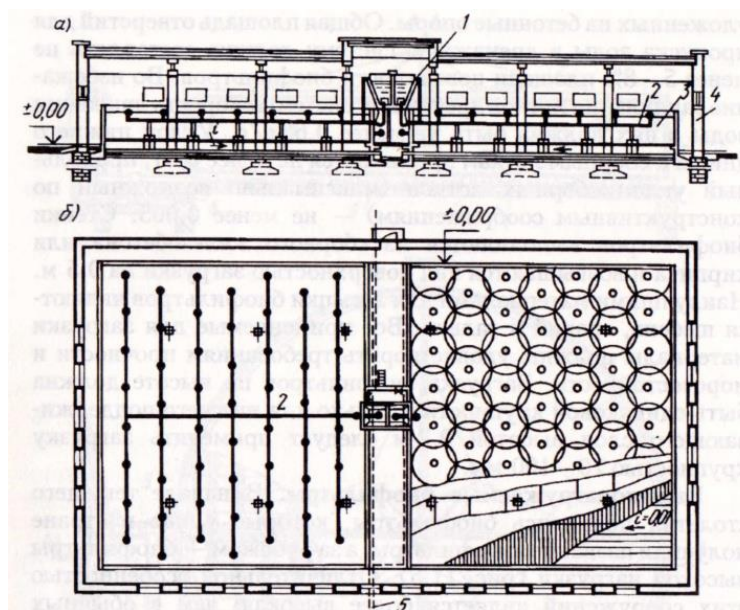


Рис. 6.21 Капельный биофильтр: поперечный разрез и план; 1 - дозирующие баки сточной воды; 2 - спринклеры; 3 - загрузочный материал; 4 - стены биофильтра; 5 - подача сточных вод в биофильтр

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. 6.22).

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. Высокнагружаемые 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 тыс.м³/сут.

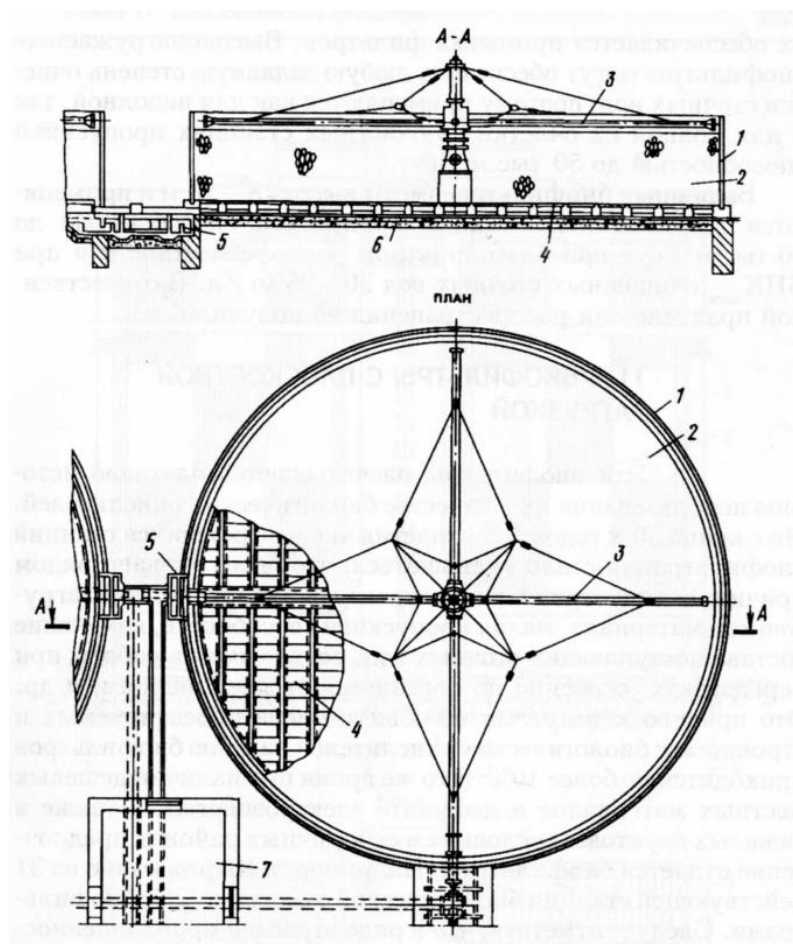


Рис. 6.22. Высокнагружаемый биофильтр: 1 - корпус; 2 - загрузка; 3 - реактивный ороситель; 4 - дренажная решетка; 5 - гидравлический затвор; 6 - сплошное днище; 7 - вентиляционная камера

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 $10\text{--}250 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Небольшой объёмный вес загрузочного материала позволяет использовать при монтаже этих сооружений легкие строительные конструкции. На рис. 6.23 приведена конструкция биофильтров пропускной способностью $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$, в первом случае стены биофильтра выполнены из плоских асбестоцементных листов, прикреплённых к жесткому металлическому каркасу.

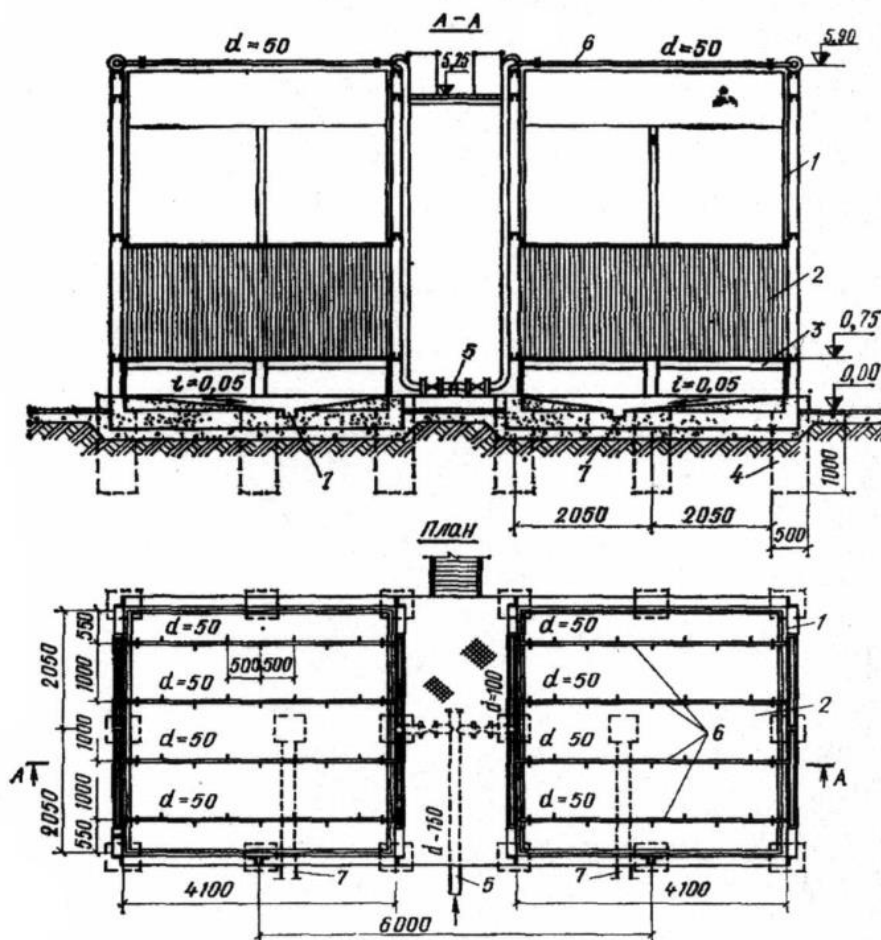


Рис 6.23. Биофильтр пропускной способностью $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$ с плоскостной загрузкой: 1 - корпус из асбестоцементных листов по металлическому каркасу; 2 - плоскостная загрузка, 3 - решетка; 4 - бетонные столбовые опоры; 5 - подводящий трубопровод; 6 - спринклерная разводящая сеть; 7 - отводящие лотки

Опыт проектирования и эксплуатации биологических фильтров свидетельствует о том, что их целесообразно применять в качестве биологических окислителей при расходах сточных вод $10\,000 - 50\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$. На рис. 6.24 – 6.25 показаны конструкции биофильтров с плоскостной

загрузкой пропускной способностью от 5000 до 50000 м³/сут, разработанные институтом ГУП «Союзводоканалпроект».

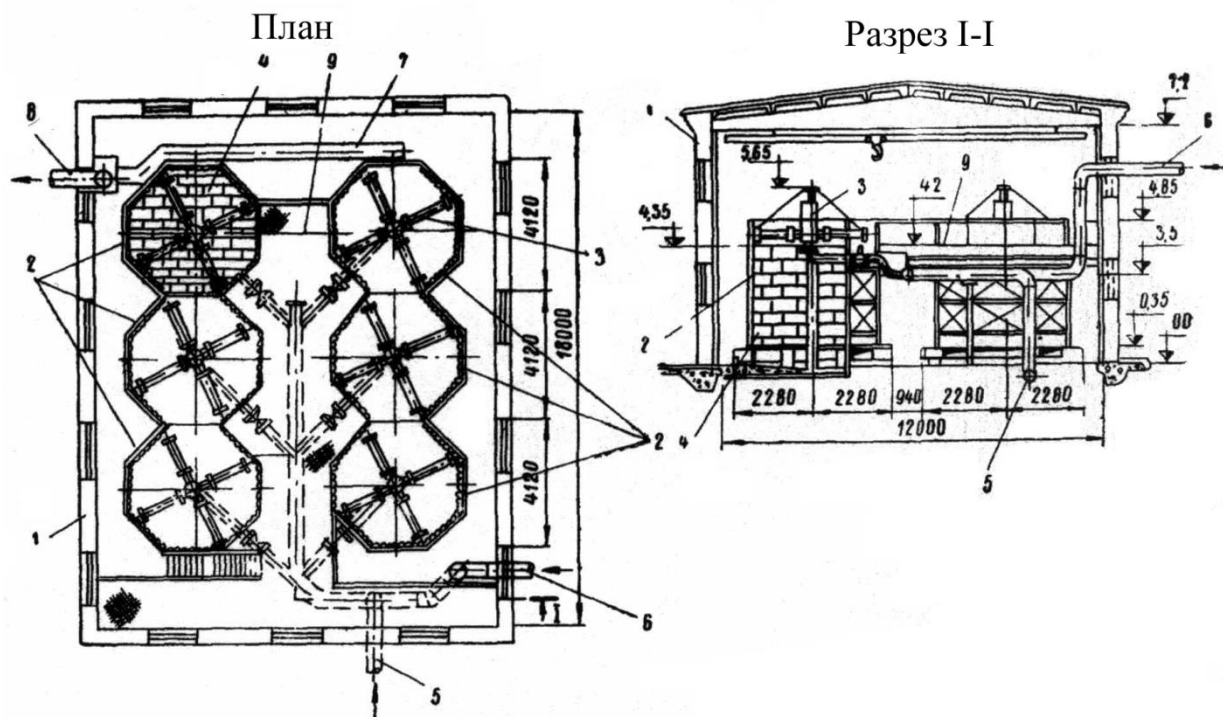


Рис. 6.24. Биофильтры секционные восьмигранной формы в плане с пластмассовой загрузкой производительностью 5000—10000 м³/сут: 1 - здание биофильтров; 2 - секции биофильтров; 3 - реактивный ороситель; 4 - загрузка пластмассовыми блоками; 5 - напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 6 - самотечный трубопровод неочищенной сточной воды; 7 - канал очищенной сточной воды; 8 - трубопровод очищенной сточной воды; 9 - площадка обслуживания

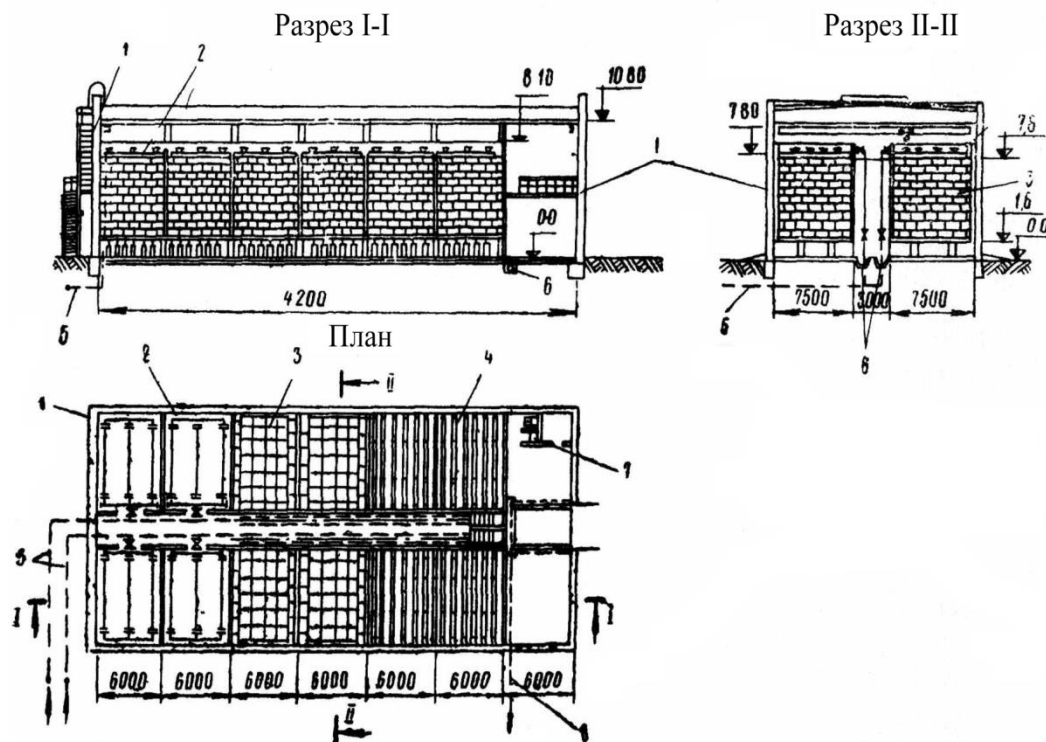


Рис. 6.25. Биофильтры секционные прямоугольной формы в плане с пластмассовой загрузкой производительностью 25000- 50000м³/сут: 1 – здание биофильтров; 2 - водораспределительная система с разбрызгивающими устройствами; 3 - загрузка с пластмассовыми блоками; 4 - установка балок под пластмассовые блоки; 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.

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. 6.26) 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.

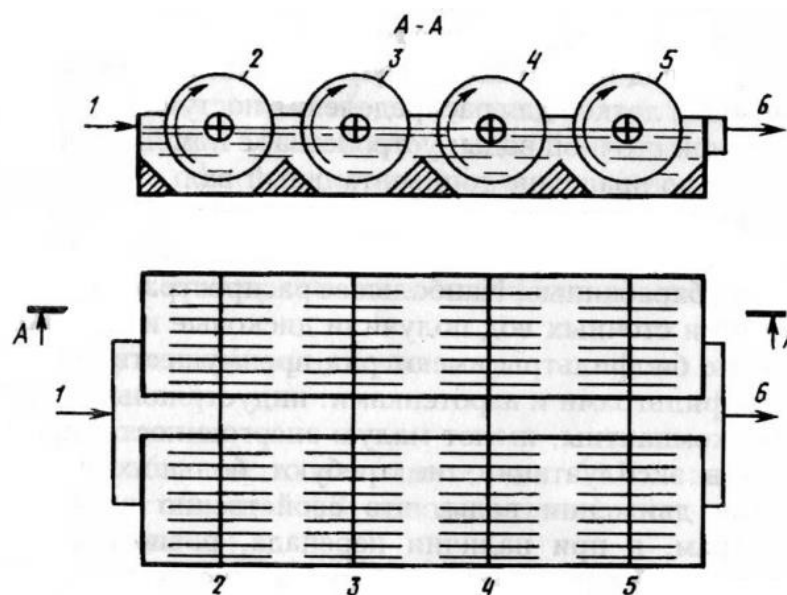


Рис. 6.26. Схема погружного дискового биофильтра: 1 - подача сточных вод; 2-5 - соответственно первая, вторая, третья и четвертая ступени погружного дискового биофильтра; 6 - выпуск обработанных сточных вод

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.

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.

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

На рис. 6.27 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.

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.

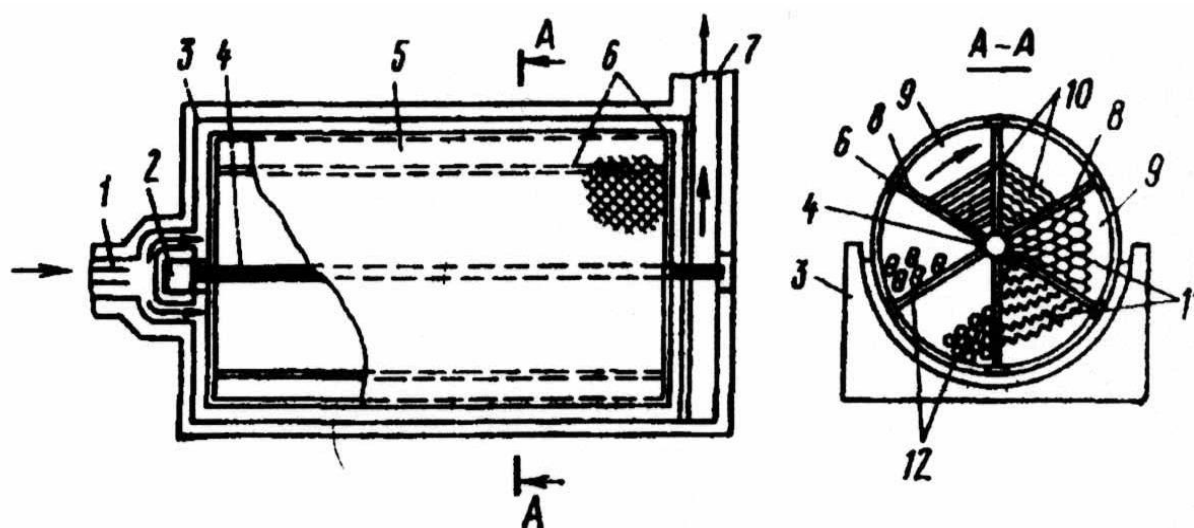


Рис. 6.27. Односекционный погружной барабанный фильтр: 1 - подводящий лоток; 2 - электродвигатель с редуктором; 3 - резервуар; 4 - вал; 5 - барабан из металлической сетки; 6 - каркас жесткости; 7 - отводящий лоток; 8 - перегородки; 9 - секторы барабана; 10 - загрузочные плоские и гофрированные листы; 11 - загрузочные блоки; 12 - засыпной загрузочный материал (обрезки труб, шарики и т.п.)

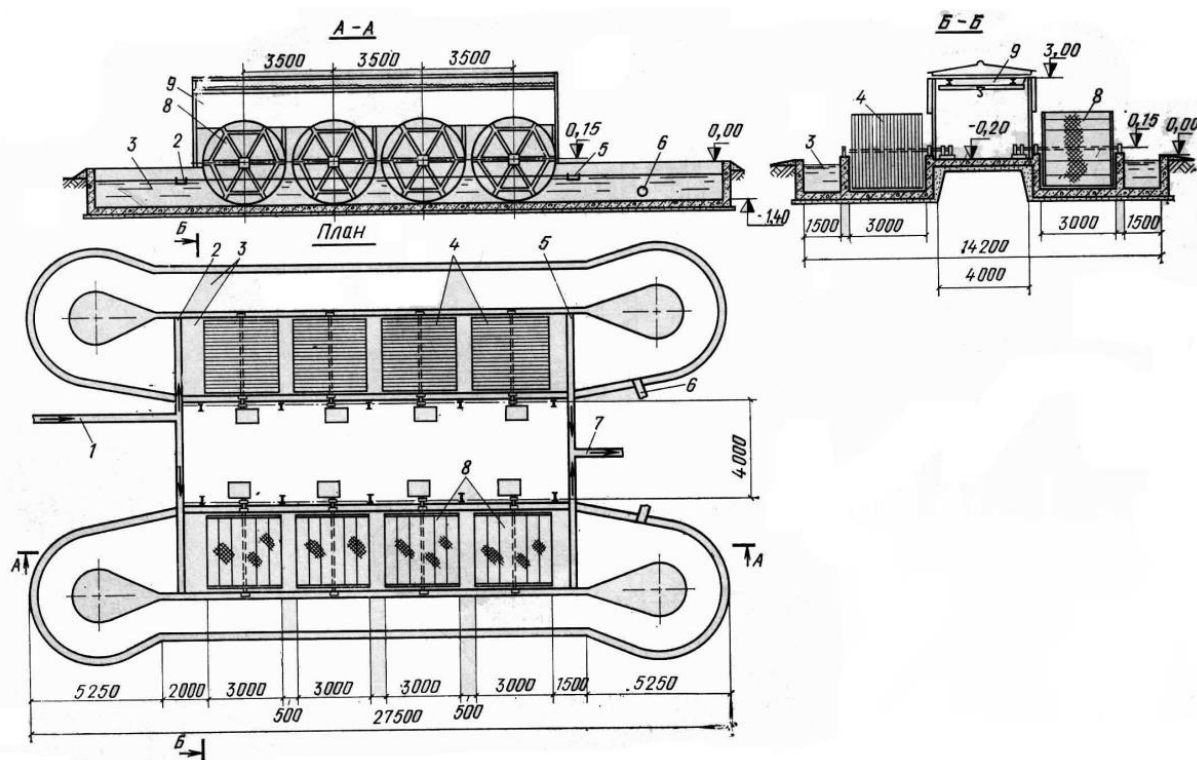


Рис.6.28. Погружные биофильтры, совмещенные с циркуляционным окислительным каналом

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.

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. 6.29) 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 анаксидный 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.

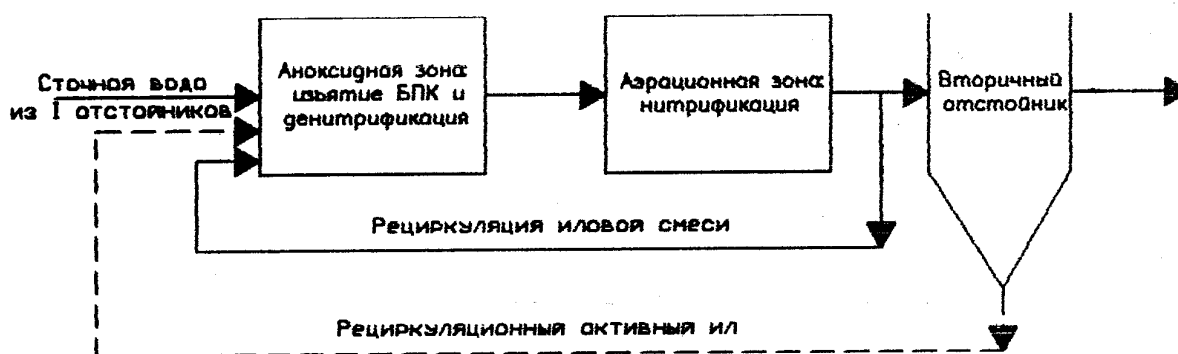


Рис. 6.29. Схема работы аэротенка с удалением азота по одноиловой системе

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. 6.30)

сточная вода подается сразу в аэротенк, где осуществляется удаление загрязнений по показателю БПК и нитрификация аммонийного азота.

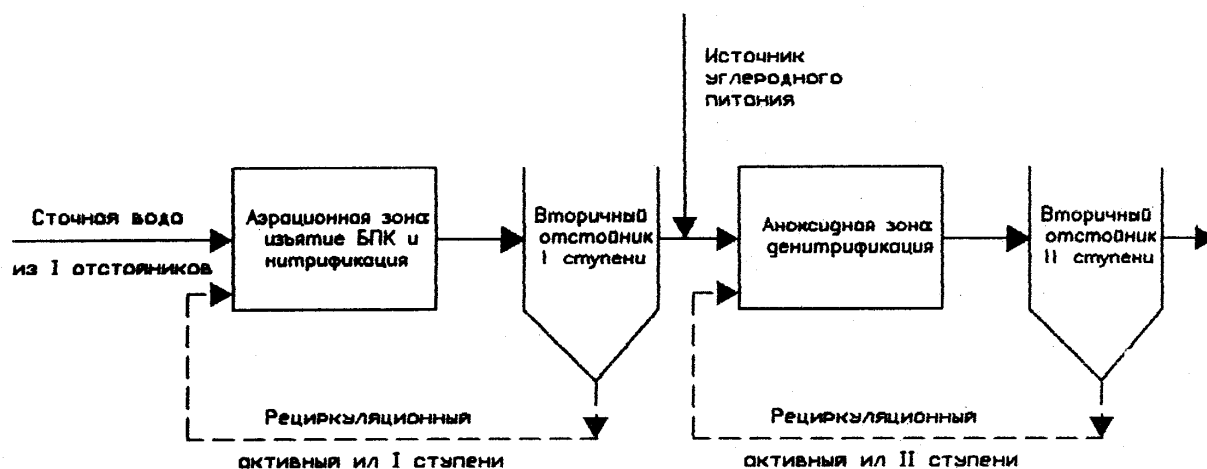


Рис. 6.30. Схема работы аэротенка с удалением азота по двухиловой системе

Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник, откуда активный ил возвращается в аэротенк, а нитрифицированная сточная вода поступает в денитрификатор, где поддерживается аноксидный 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 микрофлорой наиболее целесообразно для проведения биологической очистки в режиме глубокого удаления биогенных элементов.

Методы интенсификации работы биофильтров

Основными методами интенсификации биофильтров являются:

- изменение технологической схемы работы всего комплекса сооружений;
- замена объёмной загрузки на плоскостную;
- изменение системы водораспределения сточных вод по поверхности загрузки биофильтра;
- использование многоступенчатой схемы очистки в биофильтрах;

– повышение ферментативной активности микроорганизмов за счёт воздействия ультразвуком.

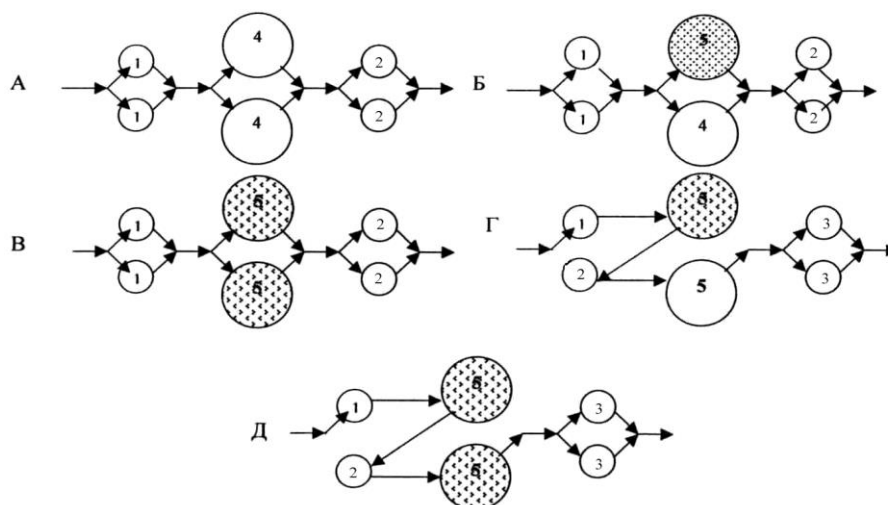


Рис. 6.31. Принципиальные схемы реконструкции станций биофильтрации: 1 – первичные отстойники; 2 – вторичные отстойники; 3 – третичные отстойники; 4 – биофильтр с объемной загрузкой; 5 – биофильтр с плоскостной загрузкой

На рис. 6.31 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 объемной загрузки на плоскостную с возможным наращиванием ограждающих стен и увеличением слоя загрузочного материала. В этом случае сохраняется одноступенчатая биологическая очистка.

Схемы Г и Д предполагают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и перегрузку объемной загрузки на плоскостную только первой или обеих ступеней биофильтров.

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.

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. 6.32).

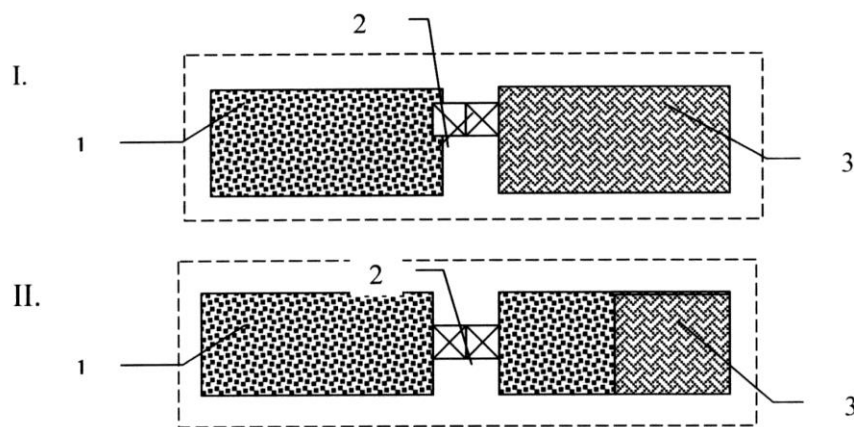


Рис. 6.32. Варианты реконструкции капельных биофильтров при замене объёмной загрузки на плоскостную: 1 – объёмная загрузка биофильтра; 2 – дозировочные баки; 3 – плоскостная загрузка

При замене объёмного загрузочного материала на плоскостной необходимо учитывать, что оптимальная высота плоскостной загрузки должна быть не менее 3-4 м.

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 (рис. 6.33).

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.

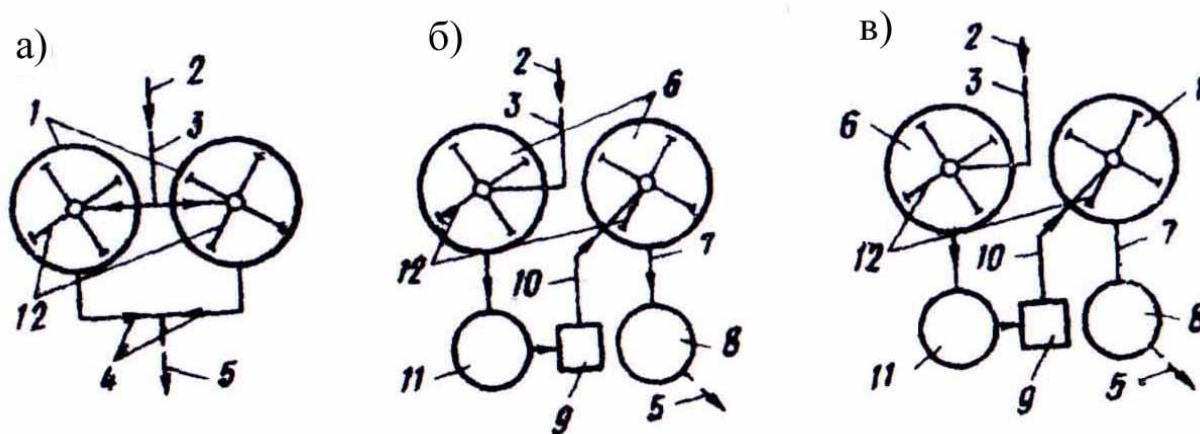


Рис. 6.33. Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции и варианты реконструкция высоконагружаемых биофильтров: а – существующая схема очистки сточных вод; б – с полной заменой загрузочного материала в аэрофильтрах; в – с заменой загрузочного материала в одном из аэрофильтров: 1 - существующие 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

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

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 приямку 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.

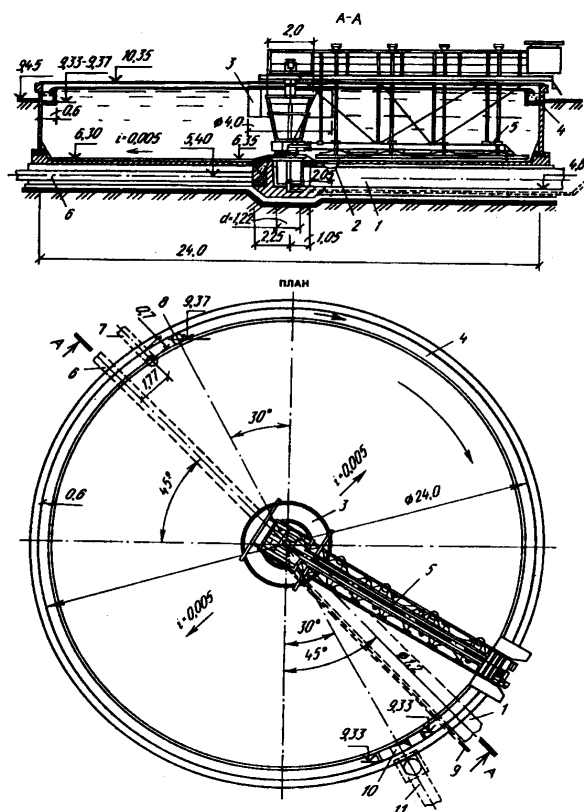


Рис. 6.34. Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона: 1 – подводящий трубопровод; 2 – люк-лаз; 3 – металлический распределительный кожух; 4 – сборный желоб; 5 – илосос; 6 – трубопровод возвратного активного ила; 7 – трубопровод опорожнения; 8 – датчики уровня ила; 9 – труба для электрокабеля; 10 – выпускная камера; 11 – отводящий трубопровод

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.

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

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 форсунки илососа и илопроводу в иловую камеру. Вторичные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника q_{ssa} , м³/(м²ч).

$$q_{ssa} = 4,5 \cdot K_{set} \cdot H_{set}^{0,8} / (0,1 \cdot I_i \cdot a_i)^{0,5-0,01a} \cdot t \quad (6.50)$$

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_t^a - требуемая конечная концентрация иловых частиц в осветленной биологически очищенной воде.

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

$$F_{ssa} = q_{mid} \cdot K_{qeu} / q_{ssa} \quad (6.51)$$

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

$$d = \sqrt{4F_{ssa} / \pi \cdot n_{II}} \quad (6.52)$$

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} , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:

$$q_{ssb} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot u_0 \quad (6.53)$$

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} , м^2 , определяют с учетом рециркуляционного расхода

$$F_{ssb} = Q_{\text{чac}}^{\text{max}} (K_{rc} + 1) / q_{ssb} \quad (6.54)$$

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.

Тема 7. Общая компоновка блоков биологической очистки с различными биоокислителями

Общие компоновочные решения очистных сооружений

Площадку для очистных сооружений следует располагать с подветренной стороны по отношению к жилой застройке и обязательно ниже города по течению реки. Высотное размещение очистных сооружений на выбранной площадке должно обеспечивать самотечное движение сточной воды, а сама площадка не должна затапливаться паводковыми водами.

Очистные сооружения от границ жилой застройки должны быть

отделены санитарно-защитными зонами, размеры зон зависят от расчетного расхода, необходимой степени очистки и состава сооружений.

Состав очистных сооружений зависит от пропускной способности, требуемого качества степени очистки сточных вод, выбранного метода обработки и использования осадков, а также от местных условий и обосновывается соответствующими технико-экономическими расчетами.

Взаимное расположение сооружений должно учитывать возможность строительства комплекса очистки сточных вод по очередям и расширения. Сооружения и здания должны быть размещены, возможно, более компактно. Расстояние между отдельными сооружениями должно обеспечивать возможность прокладки технологических коммуникаций, устройства подъездных путей и проездов, требуемые противопожарные и санитарные разрывы. Кроме того, необходимо учитывать ширину заложения откосов планировки.

Прокладку технологических и инженерных коммуникаций необходимо производить по наиболее коротким направлениям, компактно, преимущественно вдоль проездов. Воздуховоды и тепловые сети рекомендуется прокладывать на низких опорах с устройством переходов над или под проездами. Проектируемые проезды должны обеспечивать движение грузового транспорта в обоих направлениях в один ряд. На заключительном этапе разработки генплана следует обозначить контуры зелёных насаждений.

При проектировании очистных сооружений следует предусматривать возможность их блокировки и обоснованного, оптимального числа эксплуатационных единиц. Очистные сооружения проектируются как в открытом, так и закрытом варианте.

При проектировании и строительстве очистных сооружений предусматриваются устройства для равномерного распределения сточных вод между отдельными сооружениями или их группами, устройства для опорожнения сооружений на время ремонта или профилактических

технологических работ. Необходимо предусмотреть сооружение обводных трубопроводов или каналов для аварийного сброса сточных вод, установку приборов и устройств для замера количества сточных вод, осадка и активного ила, расхода воздуха, пара и газа.

На территории станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: котельная, воздухоудувная станция, лаборатория, административный корпус, мастерские, гараж и др.

Генеральный план очистных сооружений в зависимости от пропускной способности составляется в масштабе 1:500 или 1:1000. На нём показывают основные и вспомогательные сооружения, трубопроводы и каналы, сети хозяйственно-питьевого водопровода, дождевой канализации, дороги, электрораспределительные устройства, паропроводы, газопроводы, трубопроводы теплофикации, кабели и пр. Генеральный план должен проектироваться с учетом санитарных и гигиенических требований, противопожарных мероприятий и техники безопасности.

Сточные воды должны проходить по всем очистным сооружениям самотеком (рис. 7.1); осадок из первичных отстойников, возвратный ил и избыточный активный ил обычно перекачиваются принудительно (рис. 7.2).

Для обеспечения самотечного движения воды по очистным сооружениям отметка поверхности воды в подводящем канале у приёмной камеры должна превышать отметку воды в водоеме, при высоком горизонте воды в приёмнике сточных вод. Эта величина должна быть достаточной для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям, учитывая запас, равный 1 - 1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоем. Нормальная работа очистной станции в большой мере зависит от правильного определения гидравлических потерь на входе и выходе сточной воды из сооружений, при протекании её в каналах или трубопроводах, распределительных устройствах и др.

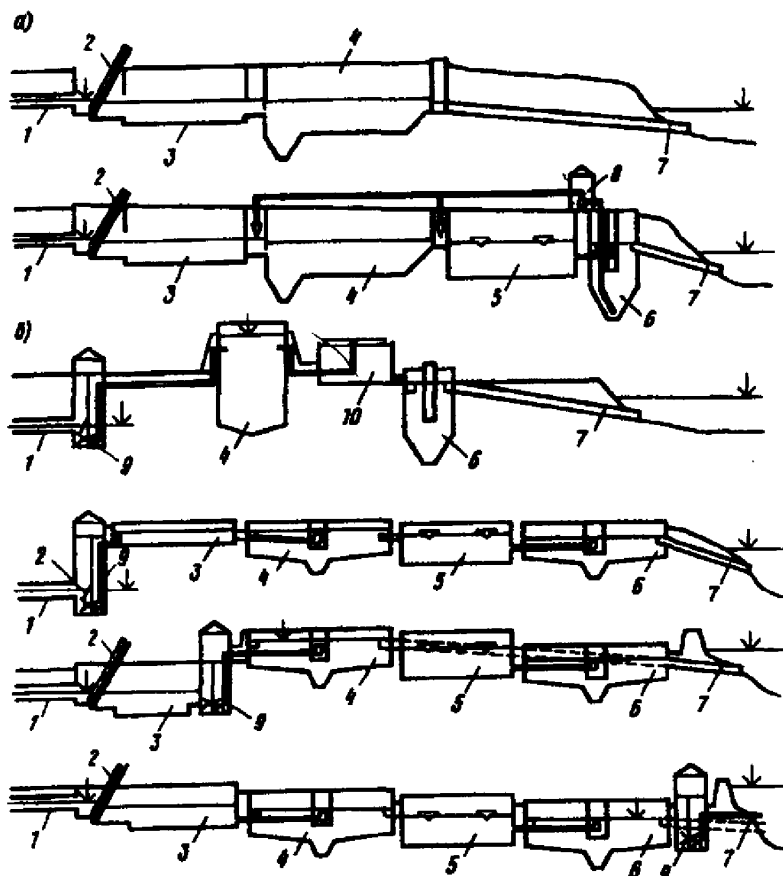


Рис. 7.1. Схемы движения сточной воды через очистные сооружения: а - с самотечным движением; б - с насосными станциями; 1 - коллектор; 2 - решетки; 3 - песколовки; 4 - первичные отстойники; 5 - аэротенки; 6 - вторичные отстойники; 7 - выпуск в водоем; 8 - эрлифтная установка для перекачки активного ила; 9 - насосная станция

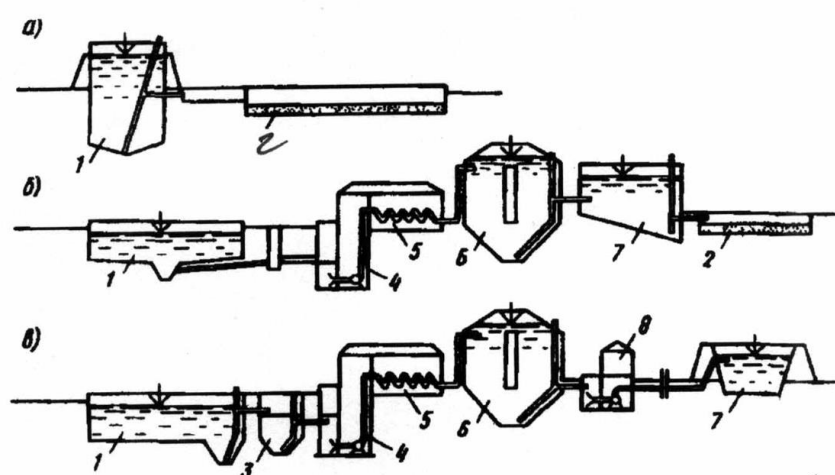


Рис. 7.2. Схемы движения осадка на очистных сооружениях: а - под гидростатическим напором; б - с перекачкой сырого осадка насосной станцией; в - с двойной перекачкой осадка; 1 - первичный отстойник; 2 - иловые площадки; 3 - илоуплотнитель; 4 - насосная станция сырого осадка; 5 -

теплообменник; 6 - сооружения для сбраживания осадка; 7 - сооружения для обезвоживания и обезвреживания осадка; 8 - насосная станция

Виды этих потерь можно классифицировать следующим образом:

- 1) потери на трение при движении сточной воды по трубам и лоткам, соединяющим отдельные сооружения;
- 2) потери при изливе воды через водосливы, отверстия на входах и выходах в каналы, в конструктивных и контрольно-измерительных приспособлениях и приборах и др.;
- 3) потери в сооружениях очистной станции, в местах перепадов уровней воды и т.д.

Обеспечивается также запас напора с расчетом на будущее расширение очистной станции.

Потери напора в отдельных сооружениях без учёта подводящих коммуникаций ориентировочно можно принять по табл. 7.1.

Для упрощения предварительного построения высотного расположения сооружений, за исключением решёток, потери напора принимаются: половина на входе в сооружение, а вторая половина на выходе из него.

Таблица 7.1

Потери напора на очистных сооружениях

№№ пп	Наименование сооружений	Потери напора, см
1	Решетки	5 - 20
2	Измерительные устройства	5 - 10
3	Распределительные чаши	10 - 20
4	Песколовки	10 - 20
5	Преаэраторы	15 - 25
6	Горизонтальные отстойники	20 - 40
7	Вертикальные отстойники	40 - 50
8	Радиальные отстойники	50 - 60

№№ пп	Наименование сооружений	Потери напора, см
9	Осветлители	60 - 70
10	Биофильтры с реактивными оросителями	h^*+150
11	Биофильтры с неподвижными спринклерами	h^*+250
12	Аэротенки	25 - 50
13	Контактные резервуары	40 - 60
14	Смесители	10 - 30
15	Песчаные фильтры	250 - 300

Общая величина потери напора на очистных сооружениях зависит от компактности расположения сооружений, то есть от величины разрывов между ними и длины подводящих лотков. Ориентировочно её можно принимать при механических и физико-химических способах очистки - 2-3 м, при биохимических способах - 4-6 м (для аэротенков) и 4–10 м (для биофильтров, в зависимости от высоты слоя загрузочного материала).

Для более точного определения отметок уровня воды в различных точках очистной станции необходимо учитывать потери на местные сопротивления: при входе и выходе воды из сооружений, в измерительных устройствах и смесителях, в местах поворотов, сужений или расширений каналов и т. п.

После размещения очистных сооружений на генплане обозначают точки для проведения расчёта (в местах изменения расхода воды, канала или сооружения). Направление расчёта выбирают по наиболее длинному пути.

Для определения взаимного высотного расположения отдельных сооружений очистной станции одновременно с составлением генерального плана строят профили движения воды, осадка и ила (профили «по воде» и «по илу»).

Профиль «по воде» представляет собой развернутый разрез по сооружениям по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водоем. Профиль «по илу» начинается от первичных отстойников и заканчивается на сооружениях по обезвоживанию осадка.

Примеры очистных сооружений крупнейших городов

Прежде чем рассматривать конкретные примеры очистных сооружений, необходимо определить, что означают понятия крупнейший, крупный, средний и малый город.

С определённой долей условности можно классифицировать города по числу жителей или с учётом профессиональной специализации по количеству сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Так для крупнейших городов с населением более 1 млн. чел количество сточных вод превышает 0,4 млн. м³/сут, для крупных городов с населением от 100 тыс. до 1 млн. чел количество сточных вод составляет 25-400 тыс. м³/сут. В средних городах проживает 50-100 тыс. человек, а количество сточных вод 10-25 тыс. м³/сут. В малых городах и посёлках городского типа число жителей от 3-50 тыс. человек (с возможной градацией 3-10 тыс. чел; 10-20 тыс. чел; 25-50 тыс. чел.). При этом расчётное количество сточных вод изменяется в достаточно широком диапазоне: от 0,5 до 10-15 тыс. м³/сут.

Доля малых городов в Российской Федерации составляет 90% от общего числа городов. Необходимо также учитывать, что система водоотведения в городах может быть децентрализованной и иметь несколько очистных сооружений.

Рассмотрим наиболее показательные примеры крупных очистных сооружений в городах Российской Федерации: Москва, Санкт-Петербург и Нижний Новгород.

Курьяновская станция аэрации (КСА) г. Москва. Курьяновская станция аэрации - старейшая и крупнейшая станция аэрации в России, на её примере можно достаточно наглядно изучить историю развития техники и

технологии очистки сточных вод в нашей стране.

Площадь, занимаемая станцией, составляет 380 га; проектная производительность - 3,125 млн. м³ в сутки; из них почти 2/3 составляют хозяйственно-бытовые и 1/3 промышленные сточные воды. В составе станции имеются четыре самостоятельных блока сооружений.

Развитие Курьяновской станции аэрации началось в 1950 г. после введения в эксплуатацию комплекса сооружений пропускной способностью 250 тыс. м³ в сутки. На этом блоке была заложена промышленно-экспериментальная технологическая и конструктивная база, которая явилась основанием для разработок практически всех станций аэрации в стране, а также была использована при расширении самой Курьяновской станции.

На рис. 7.3 и 7.4 приведены технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков Курьяновской станции аэрации.

Технология очистки сточных вод включает следующие основные сооружения: решетки, песколовки, первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, сооружения для обеззараживания сточных вод. Часть биологически очищенных сточных вод проходит доочистку на зернистых фильтрах.

На КСА установлены механизированные решетки с прозорами 6 мм с непрерывно двигающимися скребковыми механизмами.

На КСА эксплуатируются песколовки трех типов - вертикальные, горизонтальные и аэрируемые. После обезвоживания и обработки в специальном цехе, песок можно использовать при строительстве дорог и для других целей.

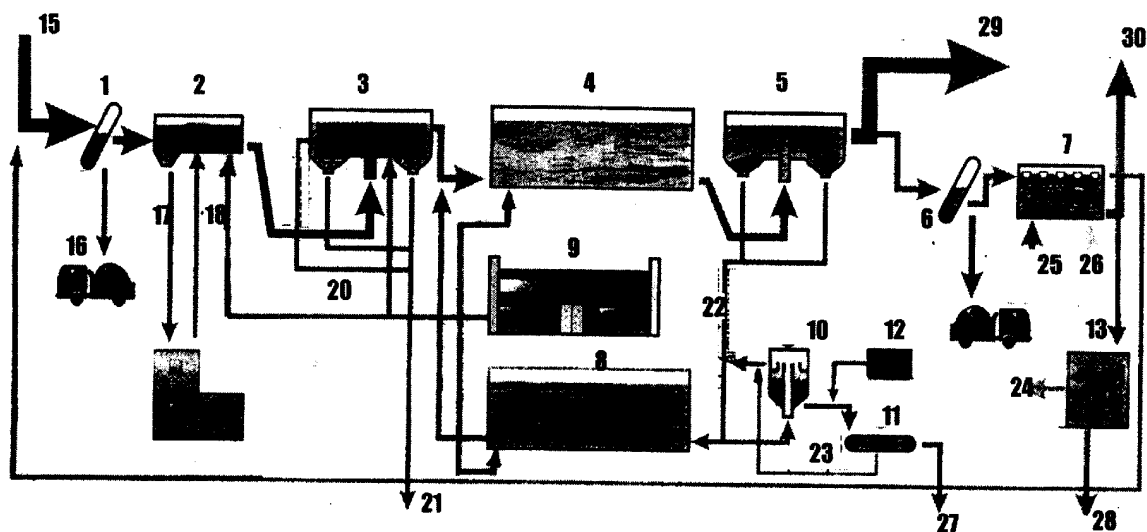


Рис. 7.3. Технологическая схема очистки сточных вод Курьяновской станции аэрации: 1 - решётка; 2 - песколовка; 3 - первичный отстойник; 4 - аэротенк; 5 - вторичный отстойник; 6 - плоское щелевое сито; 7 - скорый фильтр; 8 - регенератор; 9 - главное машинное здание ЦБО; 10 - илоуплотнитель; 11 - гравитационный ленточный сгуститель; 12 - узел приготовления раствора флокулянта; 13 - сооружения промводопровода; 14 - цех обработки песка; 15 - поступающая сточная вода; 16 - промывная вода со скорых фильтров; 17 - песковая пульпа; 18 - вода из цеха песка; 19 - плавающие вещества; 20 - воздух; 21 - осадок первичных отстойников на сооружения по обработке осадка; 22 - циркуляционный активный ил; 23 - фильтрат; 24 - обеззараженная техническая вода; 25 - техническая вода; 26 - воздух; 27 - сгущенный активный ил на сооружения обработки осадка; 28 - обеззараженная техническая вода в город; 29 - очищенная вода в р. Москва; 30 - доочищенная сточная вода в р. Москва

В качестве первичных отстойников на КСА используют отстойники радиального типа диаметрами 33, 40 м 54 м. Проектная продолжительность отстаивания составляет 2 ч. Первичные отстойники в центральной части имеют встроенные преаэраторы.

Биологическая очистка сточных вод осуществляется в четырехкоридорных аэротенках-вытеснителях, процент регенерации составляет от 25 до 50%.

Воздух для аэрации в аэротенки подаётся через фильтросные пластины. В настоящее время для выбора оптимальной системы аэрации в ряде секций аэротенков проходят испытания трубчатые полиэтиленовые аэраторы фирмы «Экополимер», тарельчатые аэраторы фирм «Грин-фрэг» и «Патфил».

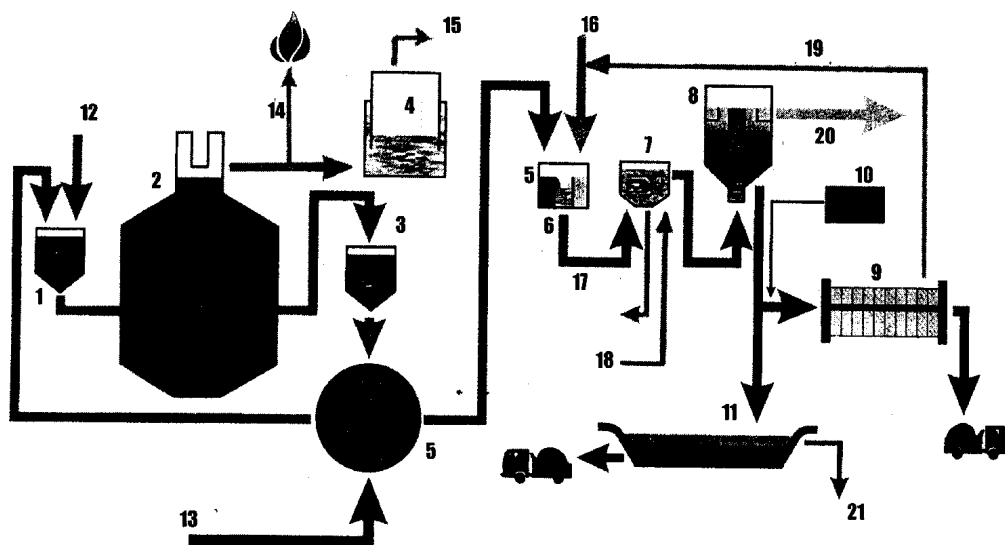


Рис. 7.4. Технологическая схема обработки осадков Курьяновской станции аэрации: 1 - загрузочная камера метантенка; 2 - метантенк; 3 - выгрузочная камера метантенков; 4 - газгольдер; 5 - теплообменник; 6 - камера смешения; 7 - промывной резервуар; 8 - уплотнитель сброженного осадка; 9 - фильтр-пресс; 10 - узел приготовления раствора флокулянта; 11 - иловая площадка; 12 - осадок первичных отстойников; 13 - избыточный активный ил; 14 - газ на свечу; 15 - газ брожения в котельную станции аэрации; 16 - техническая вода; 17 - песок на песковые площадки; 18 - воздух; 19 - фильтр; 20 - сливная вода; 21 - иловая вода в городскую канализацию

Одна из секций азротенков реконструирована для работы по одноиловой системе нитри-денитрификации, в которой также предусмотрена система удаления фосфатов.

Вторичные отстойники, так же как первичные, приняты радиального типа, диаметрами 33, 40 и 54 м.

Доочистке подвергается около 30% биологически очищенных сточных вод, которые сначала проходят очистку на плоских щелевых ситах и далее на зернистых фильтрах.

Для сбраживания осадка на КСА используются заглубленные метантенки диаметром 24 м из монолитного железобетона с земляной обсыпкой, наземные диаметром 18 м с термоизоляцией стен. Все метантенки работают по проточной схеме, в термофильном режиме. Выделяющийся газ отводится в местную котельную. После метантенков сброженная смесь

сырого осадка и избыточного активного ила подвергается уплотнению. Из общего количества смеси 40-45% направляется на иловые площадки, а 55 - 60% направляется в цех механического обезвоживания. Общая площадь иловых площадок составляет 380 га.

Механическое обезвоживание осадков осуществляется на восьми фильтр-прессах.

Показатели очистки сточных вод на Курьяновской станции аэрации приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Показатели очистки сточных вод на Курьяновской станции аэрации, мг/л

Показатели качества очистки	Место отбора проб воды.				
	Поступаю- щая	Осветлен- ная	Биологиче- ски очи- щенная	Доочищенная	Сбрасываемая в р. Москву
Взвешенные вещества	180	110	14	5,5	12
БПК ₅	115	80	10	4,0	8,5
Азот аммо- нийный	21	20	7	-	7
Нитриты	-		0,5	-	0,5
Нитраты	-	-	9	-	9
Фосфор (по Р)	1,8	1,6	1,1	-	1,1

Люберецкая станция аэрации (ЛбСА) г. Москва. Более 40 % сточных вод г. Москвы и крупных городов Московской области очищаются на Люберецкой станции аэрации (ЛбСА), расположенной в п. Некрасовка Московской области (рис. 7.5).

ЛбСА была построена в довоенные годы. Технологический процесс

очистки заключался и в механической очистке сточных вод и последующей очистке на полях орошения. В 1959 г. по решению правительства на месте Люберецких полей орошения было начато строительство станции аэрации.

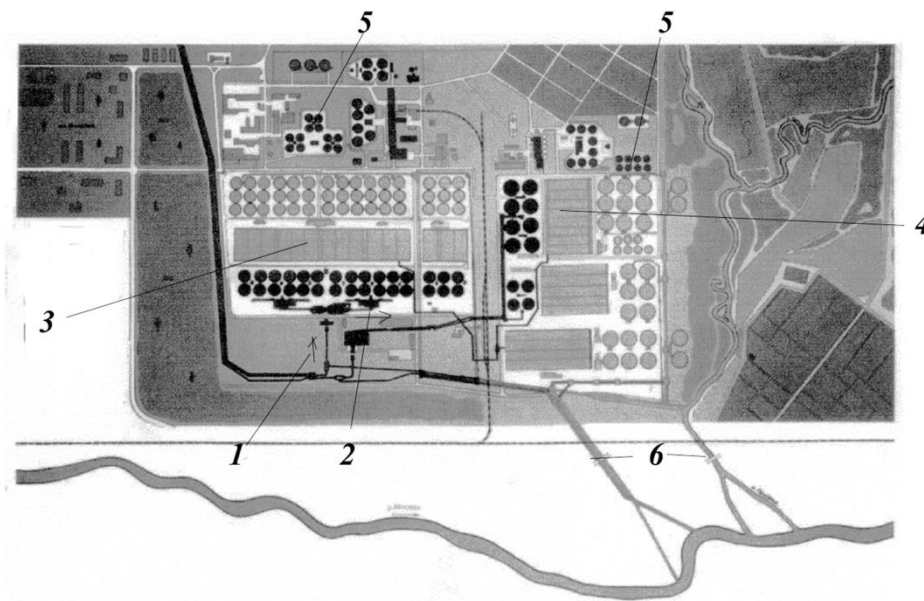


Рис. 7.5. Общий вид расположения очистных сооружений Люберецкой и Новолуберецкой станций аэрации: 1 - подача сточных вод на ЛбСА; 2 - подача сточных вод на НЛбСА; 3 - ЛбСА; 4 - НЛбСА; 5 - сооружения по обработке осадка; 6 - выпуски очищенных сточных вод

Технологическая схема очистки сточных вод на ЛбСА практически не отличается от принятой схемы на КСА и включает следующие сооружения: решетки; песколовки; первичные отстойники с преаэраторами; аэротенки-вытеснители; вторичные отстойники; сооружения по обработке осадка и обеззараживания сточных вод (рис. 7.6).

В отличие от сооружений КСА, большинство которых было построено из монолитного железобетона, на ЛбСА широко использовались сборные железобетонные конструкции.

После строительства и пуска в 1984 г. первого блока, а впоследствии и второго блока очистных сооружений Новолуберецкой станции аэрации (НЛбСА) проектная пропускная способность ЛбСА составляет 3,125 млн. м³/сут. Технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадка на ЛбСА практически ничем не отличается от классической схемы, принятой на

глубокий процесс окисления азота аммонийных солей с образованием нитратов и снижением фосфатов. Внедрение данной технологии позволяет в ближайшее время получить на Люберецкой станции аэрации очищенную сточную воду, которая бы отвечала современным нормативным требованиям для сброса в водоёмы рыбохозяйственного назначения (рис. 7.7). Впервые, около 1 млн. м³/в сут сточных вод на ЛбСА подвергается глубокой биологической очистке с удалением биогенных элементов из очищенных сточных вод.

Практически весь сырой осадок из первичных отстойников, перед сбраживанием в метантенках, проходит предварительную обработку на решётках. Основными технологическими процессами обработки осадков сточных вод на ЛбСА являются: гравитационное уплотнение избыточного активного ила и сырого осадка; термофильное сбраживание; промывка и уплотнение сброженного осадка; полимерное кондиционирование; механическое обезвреживание; депонирование; естественная сушка (аварийные иловые площадки).

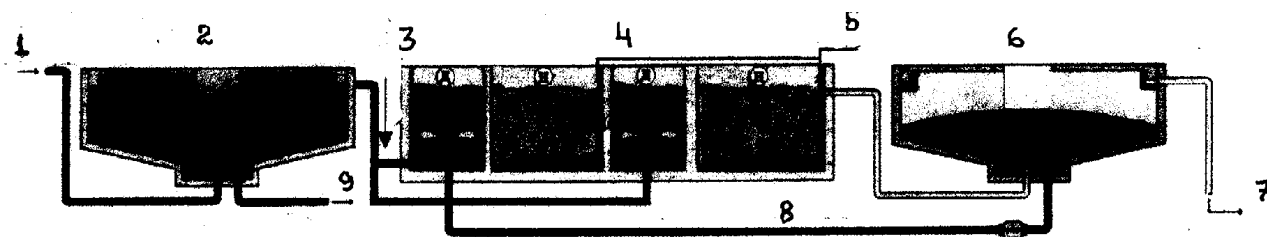


Рис. 7.7. Технологическая схема очистки сточных вод на ЛбСА по одноиловой схеме нитри-денитрификации: 1 - исходная сточная вода; 2 - первичный отстойник; 3 - осветлённая сточная вода; 4 - аэротенк-денитрификатор; 5 - воздух; 6 - вторичный отстойник; 7 - очищенная сточная вода; 8 - рециркуляционный активный ил; 9 - сырой осадок

Для обезвоживания осадка установлены новые рамные фильтрпрессы, позволяющие получать кек с влажностью 70-75%.

В табл. 7.3 приведены показатели работы всех комплексов Люберецкой станции аэрации.

Показатели очистки сточных вод на Люберецкой станции аэрации

Показатели качества воды	Концентрация веществ в сточной воде, мг/л				Нормативы для сброса в водоемы, мг/л		
	Поступающая		Очищенная		Россия		Страны ЕС
	ЛБСА	НЛБСА	ЛБСА	НЛБСА	1 категория	2 категория	
Взвешенные вещества	180	134	8,7	7,9	+ 0,25 мг/л к фону водоема	+ 0,75 мг/л к фону водоема	35
БПК _{полн}	130	120	5,3	4,2	3	6	25
N-NH ₄	20	18	5,4	1,6	0,4	1,0	10 (TN)
N-NO ₂	0,01	0,01	0,16	0,09	0,02	1,0	
N-NO ₃	0,1	0,1	9,72	12,06	9	10	
P-PO ₄	2	2	1,0	1,0	0,2	1,2	1,0 (TP)

Центральная станция аэрации, г. Санкт-Петербург. Очистные сооружения Центральной станции аэрации г. Санкт-Петербург находятся в устье р. Невы на искусственно намытом острове Белом. Станция введена в эксплуатацию в 1978 г.; проектная пропускная способность - 1,5 млн. м³ в сутки была достигнута в 1985 г. Площадь застройки составляет 57 га.

Центральная станция аэрации г. Санкт-Петербург принимает и обрабатывает около 60% бытовых и 40% промышленных сточных вод города. Санкт-Петербург - самый большой город в бассейне Балтийского моря, это возлагает особую ответственность за сохранение экологической безопасности этого моря.

Технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадков Центральной станции аэрации г. Санкт-Петербург представлена на рис. 7.8.

Максимальный расход сточной воды, перекачиваемой насосной станцией в сухую погоду, составляет 20 м³/с и в дождливую - 30 м³/с. Сточные воды, поступающие из входного коллектора городской

водоотводящей сети, перекачиваются в приемную камеру механической очистки.

В состав сооружений механической очистки входят: приемная камера, здание решеток, первичные отстойники с жиросборниками. Первоначально сточная вода проходит очистку на 14 механизированных решетках грабельного и ступенчатого типа. После решеток сточная вода поступает на песколовки (12 шт.) и далее через распределительный канал отводится к трем группам первичных отстойников. Первичные отстойники радиального типа, в количестве 12 штук. Диаметр каждого отстойника 54 м при глубине 5 м.

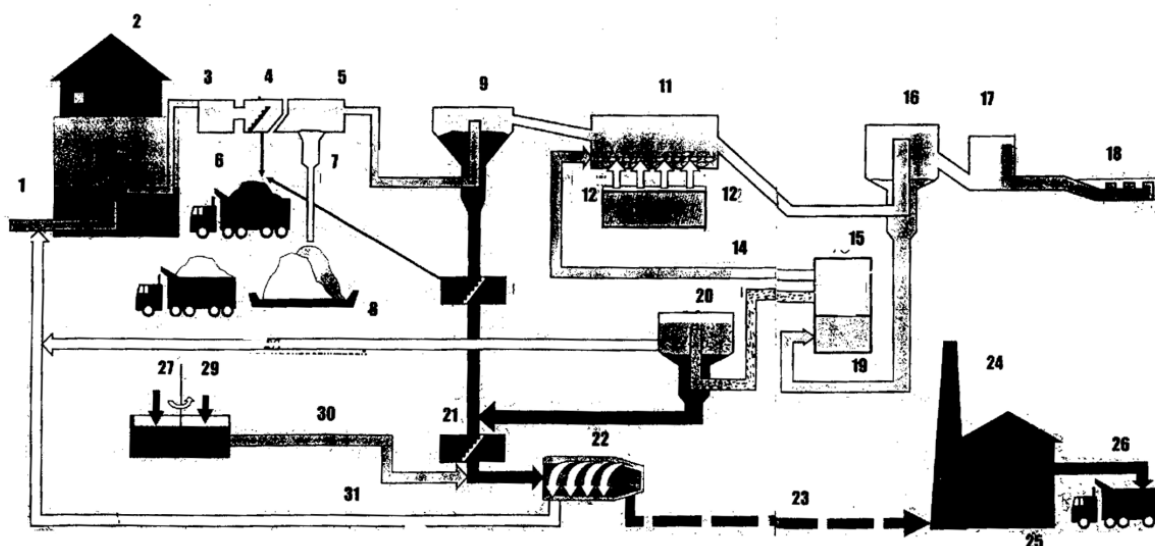


Рис. 7.8. Технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадков Центральной станции г. Санкт-Петербург: 1 - сточные воды из города; 2 - главная насосная станция; 3 - подводящий канал; 4 - механизированные решётки; 5 - песколовки; 6 - отбросы; 7 - песок; 8 - песковые площадки; 9 - первичные отстойники; 10 - резервуар сырого осадка; 11 - аэротенки; 12 - воздух; 13 - нагреватели; 14 - возвратный активный ил; 15 - иловая насосная станция; 16 - вторичные отстойники; 17 - камера выпусков; 18 - река Нева; 19 - активный ил; 20 - илоуплотнители; 21 - приёмный резервуар; 22 - центрипрессы; 23 - кек на сжигание; 24 - сжигание осадка; 25 - печь; 26 - зола; 27 - флокулянт; 28 - сливная вода илоуплотнителей; 29 - вода; 30 - раствор флокулянта; 31 - фугат

В состав сооружений биологической очистки входят аэротенки, радиальные отстойники и главное машинное здание, включающее в себя блок воздуходувных агрегатов и иловые насосы. Аэротенки состоят из двух групп, каждая из которых представляет собой шесть параллельных

трехкоридорных аэротенков длиной 192 м с общим верхним и нижним каналами, ширина и глубина коридоров соответственно 8 и 5,5 м. Подача воздуха в аэротенки осуществляется через мелкопузырчатые аэраторы. Регенерация активного ила составляет 33%, при этом возвратный активный ил из вторичных отстойников подается в один из коридоров аэротенка, служащий регенератором.

Из аэротенков очищенная вода направляется в 12 вторичных отстойников для выделения активного ила из биологически очищенной сточной воды. Вторичные отстойники, также, как и первичные, приняты радиального типа диаметром 54 м при глубине зоны отстаивания 5 м. Из вторичных отстойников активный ил поступает под гидростатическим давлением в иловую насосную станцию. После вторичных отстойников через камеру выпусков очищенная вода сбрасывается в р. Неву.

В цехе механического обезвоживания осадков обрабатывается сырой осадок из первичных отстойников и уплотненный активный ил из вторичных отстойников. Основным оборудованием этого цеха является десять центрипрессов, оборудованных системами предварительного подогрева смеси сырого осадка и активного ила. Для повышения степени влагоотдачи смеси в центрипрессы подаётся раствор флокулянта. После обработки в центрипрессах влажность кека достигает 76,5%.

В цехе сжигания осадка установлены 4 печи с псевдоожиженным слоем (французской фирмы OTV).

Отличительной особенностью этих очистных сооружений является, что в цикле обработки осадка отсутствует предварительное сбраживание в метантенках. Обезвоживание смеси осадков и избыточного активного ила происходит непосредственно в центрипрессах. Сочетание центрипрессов и сжигание уплотненных осадков резко снижает объем конечного продукта – золы. По сравнению с традиционной механической обработкой осадков, образующейся золы в 10 раз меньше, чем обезвоженного кека.

Использование метода сжигания смеси осадка и избыточного активного ила в печах с псевдоожиженным слоем гарантирует безопасность в санитарном отношении.

Станция аэрации г. Нижний Новгород. Нижегородская станция аэрации - комплекс сооружений, предназначенный для полной биологической очистки бытовых и производственных сточных вод г. Нижний Новгород и г. Бор. В технологическую схему включены следующие сооружения: блок механической очистки - решетки, песколовки, первичные отстойники; блок биологической очистки - аэротенки и вторичные отстойники; доочистка; сооружения по обработке осадков (рис. 7.9).

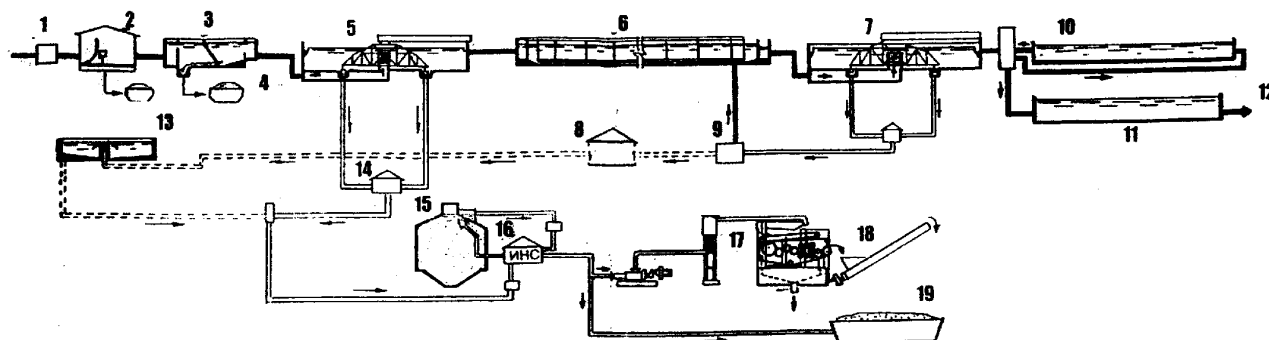


Рис. 7.9. Технологическая схема обработки сточных вод на Нижегородской станции аэрации: 1 - приёмная камера сточных вод; 2 - решётки; 3 - песколовки; 4 - песковые площадки; 5 - первичные отстойники; 6 - аэротенки; 7 - вторичные отстойники; 8 - насосная станция избыточного активного ила; 9 - эрлифтная камера; 10 - биологические пруды; 11 - контактные резервуары; 12 - выпуск в р. Волга; 13 - илоуплотнители; 14 - насосная станция сырого осадка (из первичных отстойников); 15 - метантенки; 16 - иловая насосная станция; 17 - флокулянт; 18 - фильтр-пресс; 19 - иловые площадки

Проектная пропускная способность сооружений составляет 1,2 млн. м³/сут. В здании установлены 4 механизированные решетки производительностью - 400 тыс. м³/сут каждая. Отбросы с решеток перемещаются с помощью транспортеров, сбрасываются в бункеры, хлорируются и выводятся на полигон для компостирования.

Песколовки включают два блока: первый состоит из 7 горизонтальных аэрируемых песколовок производительностью 600 м³/сут. каждая, второй - из

2 горизонтальных щелевых песколовок производительностью 600 м³/сут каждая.

На станции построены 8 первичных радиальных отстойников, диаметром 54 м. Для удаления плавающих загрязнений отстойники оборудованы жиросборниками.

В качестве сооружений биологической очистки используются 4-коридорные аэротенки-смесители. Рассредоточенный выпуск сточных вод в аэротенки позволяет изменять объем регенераторов от 25 до 50%, обеспечивать хорошее смешение поступающей воды с активным илом и равномерное потребление кислорода по всей длине коридоров. Длина каждого аэротенка составляет 120 м, общая ширина - 36 м, глубина - 5,2 м.

Конструкция вторичных отстойников и их размеры аналогичны первичным, всего на станции построено 10 вторичных отстойников.

Таблица 7.4

Показатели очистки сточных вод на Нижегородской станции аэрации

Показатели	Поступающая вода, мг/л		Сброс в р. Волга, мг/л.		Эффективность очистки, %
	проект.	факт.	проект.	факт.	
Взвешенные вещества	200	162	12,0	5,8	96,4
БПК ₅	175	85	3,7	1,8	97,9
Азот	-	19,5	-	9,7	50,3
Фосфор	-	1,73	-	0,89	48,6

После вторичных отстойников вода направляется на доочистку в два биологических пруда с естественной аэрацией. Биологические пруды построены на естественном основании и обвалованы земляными дамбами; площадь зеркала воды каждого пруда - 20 га. Время пребывания в биологических прудах составляет 18-20 ч.

После биопрудов очищенная сточная вода обеззараживается в

контактных резервуарах с использованием хлора.

Очищенная и обеззараженная вода через лотки Паршаля поступает в водоотводящие каналы и после насыщения кислородом в водосбросном перепадном устройстве поступает в р. Волга.

Смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила направляется в метантенки. В метантенках поддерживается термофильный режим.

Сброженный осадок частично подаётся на иловые площадки, а частично на ленточный фильтр-пресс производительностью.

Примеры очистных сооружений крупных городов

ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые станции для биологической очистки сточных вод пропускной способностью 25 - 280 тыс. м³/сут. Сооружения проектируют в сблокированном варианте (блоки первичных отстойников, блоки аэротенков и вторичных отстойников - при горизонтальных и радиальных отстойниках) и в виде отдельно расположенных емкостей (радиальные круглые отстойники). Все сооружения выполняются из сборных железобетонных элементов.

Станции пропускной способностью 70 - 280 тыс. м³/сут. Генеральный план станции пропускной способностью 70 - 100 тыс. м³/сут с горизонтальными отстойниками представлен на рис. 7.10.

Перед первичными отстойниками устанавливают механизированные решетки типа МГ и аэрируемые песколовки. Аэротенки приняты с нелинейно-рассредоточенным впуском сточной воды и пневматической аэрацией.

Дезинфекция сточной жидкости предусматривается жидким хлором. Обработка осадка принята с аэробной минерализацией, центрифугированием и компостированием. Возможны и другие варианты: механическое обезвоживание на вакуум-фильтрах со сходящим полотном с последующей термической сушкой по методу встречных газовых струй; сбраживание в метантенках с последующей сушкой на иловых площадках.

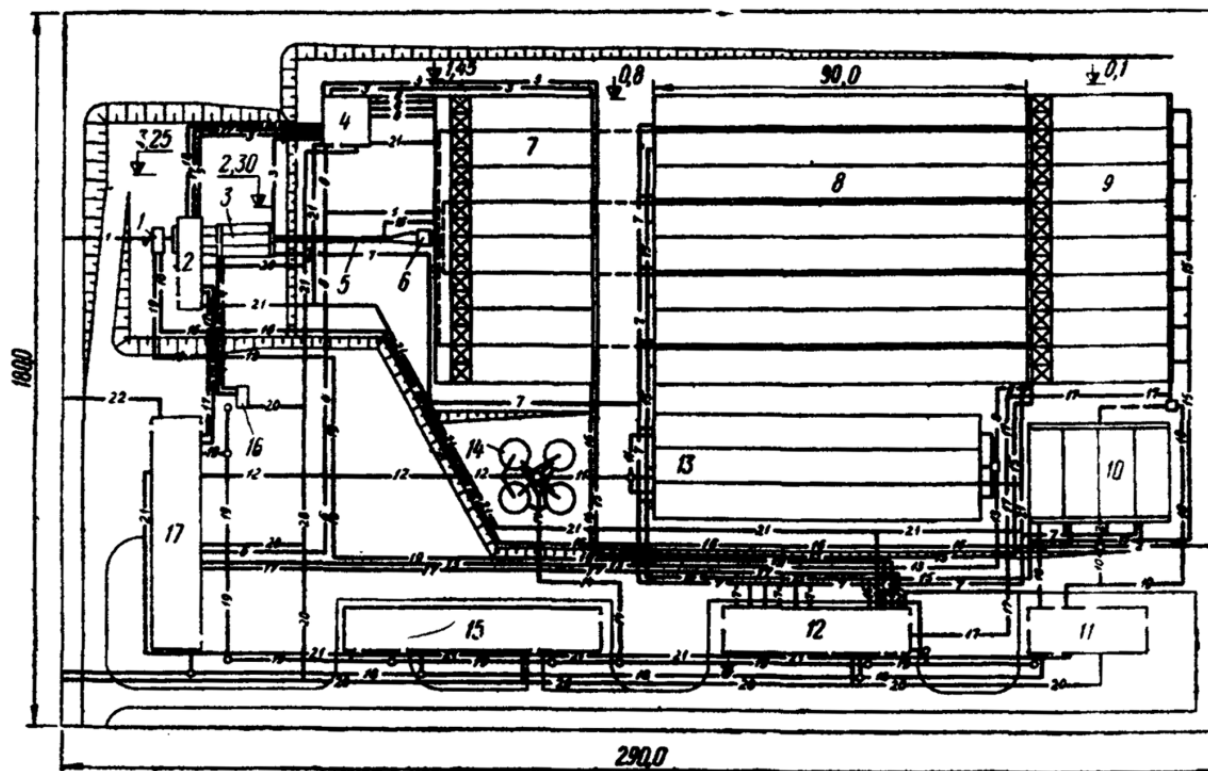


Рис. 7.10. Генплан станции пропускной способностью 70-100 тыс. м³/сут: 1 - приемная камера; 2 - здание на четыре механизированные решетки МГ-11Т (1000х1600 мм); 3 - аэрируемые песколовки, D=4 м; 4 - насосная станция песколовок и первичных отстойников; 5 - лоток Вентури; 6 - распределительная камера; 7 - первичные отстойники; 8 - аэротенки АНР-2-90-4,4; 9 - вторичные отстойники; 10 - контактные резервуары, Д-9; 11 - хлораторная установка; 12 - насосно-воздуходувная станция с шестью турбовоздуходувками ТВ-176-1,6; 13 - минерализаторы, В = 9 м; 14 - илоуплотнители, D=9 м; 15 - блок административно-бытовые помещения - лаборатория - мастерские; 16 - бункера песка; 17 - корпус обезвоживания и сушки осадка с четырьмя центрифугами НОГШ-631-К2 и одной сушильной установкой.

В составе комплекса очистных сооружений проектируются: производственные здания - насосно-воздуходувная, хлораторная, котельная; производственно-вспомогательные службы - лаборатория, мастерские, склад, гараж и административно-бытовые помещения.

Указанные типовые станции можно применять для полной биологической очистки сточных вод, имеющих первоначальную концентрацию загрязнений от 140 до 280 мг/л по БПК₂₀ и от 220 до 275 мг/л по взвешенным веществам, без изменений объема сооружений. При других концентрациях загрязнений сточных вод мощности и марки воздуходувок,

нагрузка и количество метантенков, количество паровых котлов, а также длина аэротенков устанавливаются дополнительным расчетом, что вызывает увеличение объема проектных работ.

Удельный вес сооружений для очистки сточных вод в общей стоимости основных фондов промышленного производства достигает 10 - 20%.

Показателем экономичности проектных решений при технико-экономической оценке очистных станций является удельный расход сточной воды, приходящийся на единицу площади застройки станции. На современных отечественных станциях удельный расход составляет $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{сут})$ площади застройки.

Станция очистки сточных вод района Южное Бутово (г. Москва). Станция очистки была запроектирована и построена для обработки хозяйственно-бытовых сточных вод. Необходимость проектирования этих автономных очистных сооружений продиктована дальностью перекачки в московскую канализацию сточных вод из района Южное Бутово и определёнными трудностями в строительстве напорных водоводов (многочисленные пересечения различного вида транспортных и инженерных коммуникаций). Строительство станции облегчает работу московских сооружений по обработке городских сточных вод.

Сооружения по очистке сточных вод из района Южное Бутово были запроектированы, построены и пущены в эксплуатацию фирмой ФРГ СХВ Хельтер Вассер-техник ГмбХ.

Выбранное технологическое решение учитывает общие принципы очистки бытовых сточных вод, а также специфические требования к качеству очищенной воды, так как после очистки сточные воды сбрасываются в р. Десна.

Выбранное оборудование отвечает современным требованиям в области современных технологий очистки бытовых сточных вод. Работа станции практически полностью автоматизирована - обслуживающий персонал

состоит всего из 12 человек.

Технологическая схема очистки сточных вод района Южное Бутово включает следующие сооружения:

- песколовки;
- сооружения биологической очистки (анаэробные сооружения для удаления фосфора, аэробные емкости - циркуляционный аэротенк с денитри-нитрификацией для очистки сточных вод от органических загрязнений и азота);
- вторичные отстойники; песчаные фильтры; установка для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением;
- сооружения по уплотнению смеси осадков и избыточного активного ила с кондиционированием хлорным железом и известью;
- обезвоживание на фильтр-прессах;
- сбор осадков в контейнеры и вывоз на специализированный полигон.

На рис. 7.11 приведена технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадка очистных сооружений района Южное Бутово.

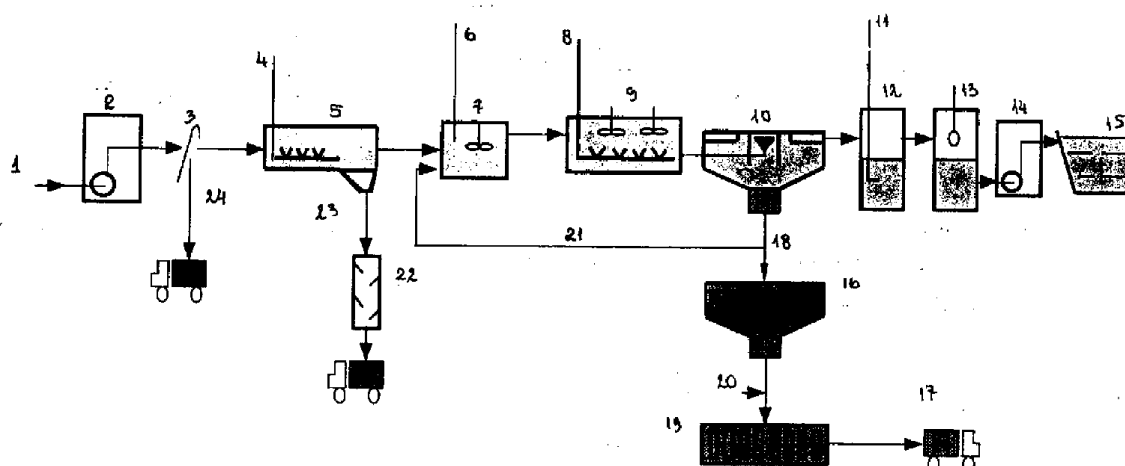


Рис. 7.11. Технологическая схема очистки сточных вод района Южное Бутово (г. Москва): 1 - городские сточные воды; 2 - насосная станция; 3 - решётки; 4 - воздух; 5 - аэрируемая песколовка-жироловка; 6 - реагент; 7 - биологическая очистка от фосфора; 8 - воздух; 9 - аэротенки с денитри-нитрификацией; 10 - вторичные отстойники; 11 - воздух; 12 - фильтры доочистки; 13 - установка ультрафиолетовой дезинфекции; 14 - насосная станция для перекачки очищенных вод; 15 - река Десна; 16 - уплотнитель осадка; 17 - осадок; 18 - избыточный

активный ил; 19 - фильтр-прессы; 20 - реагент (флокулянт); 21 - возвратный активный ил; 22 - классификатор песка; 23 - песок; 24 - отбросы

Очистные сооружения обслуживают район с населением 250 тыс. жителей и рассчитаны на прием бытовых сточных вод в количестве 80 тыс. м³/сут. В здании установлены три механизированные решетки - две рабочие и одна резервная. Отбросы, задержанные решетками, транспортерами подаются в специальные контейнеры.

Далее сточные воды поступают в двухсекционную аэрируемую песколовку, оснащенную жироловкой, на подвижной ферме установлено всасывающее устройство подающее песок в классификатор. Песок, отделенный от органических загрязнений, поступает в контейнер, а вода с органическими примесями подается на биологическую очистку.

Биологическая очистка на очистных сооружениях района Южное Бутово проходит в две стадии - в анаэробном и в аэробном режимах по запатентованному фирмой ФРГ способу Sum Bio® с применением аэробной стабилизации осадков.

После песколовки сточные воды направляются в емкости, где поддерживается анаэробный режим для интенсификации удаления фосфора. В эти емкости, подается рециркулирующий активный ил, который смешивается с очищаемой водой механическими мешалками. Время пребывания сточных вод в анаэробных сооружениях составляет 1 ч.

Для достижения контрольного значения по общему фосфору, биологической очистки недостаточно, поэтому в анаэробные сооружения дозируется хлорид железа.

В аэробных сооружениях - аэротенках общим объемом 60 тыс. м³ происходят процессы очистки сточных вод от растворенных органических загрязнений, а также процессы нитрификации - денитрификации с выделением свободного азота.

По способу Sum Bio® оптимальная подача кислорода в аэротенках ре-

гулируется с учетом потребности кислорода внутри хлопьев активного ила. Активные свойства хлопьев ила постоянно контролируются с помощью измерительного зонда Bio Balance®. Таким образом, гарантируется постоянное обеспечение биоценоза необходимым количеством кислорода, но исключается его избыток.

Аэротенки выполнены с циркуляционным режимом работы, что обеспечивается погружными механическими мешалками. Аэрация сточных вод в аэротенках осуществляется заглубленными пневматическими устройствами.

Аэротенки запроектированы из расчёта 20-дневной стабилизации, поэтому общий объем аэротенков составляет - 60000 м³.

Очищенные воды отделяются от осадка в четырёх вторичных радиальных отстойниках диаметром 38 м при глубине 4,30 м. Рециркуляционный активный ил направляется в анаэробные сооружения, остальной объем ила подается на уплотнитель.

После вторичных отстойников вода доочищается на песчаных фильтрах с нисходящим потоком жидкости при высоте слоя загрузки 1,70 м и скорости фильтрации – 15 м/ч. После фильтрации сточная вода проходит обеззараживание ультрафиолетовым облучением в трёх каналах длиной 7 м и шириной 1,2 м. Далее вода самотеком направляется в насосную станцию, которая перекачивает ее для сброса в р. Десна.

Сооружения по обработке осадка включают: уплотнитель, промежуточный резервуар, фильтр-прессы. Обезвоженный осадок через транспортеры сбрасывается в контейнеры и вывозится со станции на специализированный полигон. В табл. 7.5 приведены результаты работы очистных сооружений.

Таблица 7.5

Показатели очистки сточных вод на Бутовской станции аэрации

Показатели	Поступающая вода, мг/л	Сброс в р.Десна, мг/л	Эффективность очистки, %
Взвешенные вещества	200	нпо	99,9
БПК ₅	185	5	97,3
Общий азот	45	6	86,7
Азот аммонийный	40	2	95
Фосфор	7	1	85,7
Коли-индекс	>1000000	< 1000.	99,9

Станции пропускной способностью 25 - 70 тыс. м³/сут разработаны в двух вариантах: с горизонтальными и радиальными отстойниками.

Первый вариант требует меньшей площади для размещения технологических емкостей, сокращается число и протяженность коммуникаций, обеспечивается возможность организации строительства поточным методом.

На рис. 7.12 показан генеральный план станции биологической очистки сточных вод пропускной способностью 25-50 тыс. м³/сут. В состав сооружений механической очистки сточных вод входят механизированные решетки типа МГ, песколовки с круговым движением и первичные радиальные отстойники. Биологическая очистка сточных вод проводится в аэротенках с нелинейно рассредоточенным впуском сточной воды и пневматической аэрацией. Дезинфекция сточных вод предусматривается жидким хлором.

Для обработки осадков сточных вод и ила предусмотрено их сбраживание в метантенках при термофильном режиме с последующей сушкой на иловых площадках.

Кроме очистных сооружений, на территории станции располагаются: насосная станция сырого осадка, насосно-воздуходувная станция, газгольдер, котельная, хлораторная, блок производственных и бытовых помещений.

Вариант с радиальными отстойниками с периферийным впуском позволяет по сравнению с первым снизить расход бетона и металла на 10 -

- мастерские; 14 - илоуплотнители; 15 - бункера песка; 16 - корпус обезвоживания осадка с центрифугами. Трубопроводы: -1- сточных вод; -2- очищенных сточных вод; -3- рабочей воды гидроэлеватора; -4- пульпы; -5- плавающих веществ; -6- сырого осадка; -7- воздуха; -8- возвратного активного ила; -9- избыточного активного ила; -10- хлорной воды; -11- минерализованной смеси; -12- уплотненной минерализованной смеси; -13- фугата; -14- иловой воды; -15- опорожнения сооружений; -16- аварийного сброса; -17- технической воды; -18- хозяйственно-противопожарный водопровод; -19- бытовая канализация; -20- теплотрасса; -21- электрокабель; -22- газопровод

Примеры очистных сооружений средних городов

В средних городах проживает 50-100 тыс. человек, а количество сточных вод составляет 10-25 тыс. м³/сут.

Станции пропускной способностью 1000 - 25000 м³/сут

ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования разработан проект станций очистки сточных вод пропускной способностью 1000 - 25000 м³/сут, которые включают следующие сооружения:

- тангенциальные песколовки;
- аэротенки с одноиловой системой денитри-нитрификации;
- вторичные двухбункерные отстойники с тонкослойным модулем;
- биореакторы доочистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ на различных носителях;
- сооружения дезинфекции сточных вод на установках УФО фирмы «Лит»;
- аэробный стабилизатор активного ила;
- производственно-вспомогательное здание (насосно-воздуходувная станция и ленточные фильтр-прессы для обработки смеси сырого осадка и стабилизированного активного ила и др.);
- песковые и аварийные иловые площадки.

На рис. 7.13 приведена технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 2500 м³/сут.

Очистные сооружения обслуживают посёлок городского типа с

населением около 10000 жителей и несколько производств сельскохозяйственного назначения. Качественные характеристики загрязнений сточных вод и очищенной воды приведены в табл. 7.6.

Насосной станцией, находящейся в посёлке на расстоянии 400 м от очистных сооружений, по двум напорным водоводам сточные воды перекачивают в приёмную камеру очистных сооружений. В приёмном резервуаре насосной станции установлены две механизированные решётки с прозорами 6 мм, поэтому на очистных сооружениях установка решёток не предусмотрена. Отбросы после решёток собирают в контейнер и вывозят на специализированный полигон.

Таблица 7.6

Показатели очистки сточных вод мг/л, на очистных сооружениях пропускной способностью 2500 м³/сут

Показатели	Место отбора			
	Поступающая	Биологически очищенная	Доочищенная	Сбрасываемая в р. Москва
Взвешенные вещества	150	15	2-3	2-3
БПК ₅	150	10	3	3
Азот аммонийный	35	0,4 – 0,6	0,4 – 0,6	0,4 – 0,6
Нитриты	-	0,25	0,15	0,15
Нитраты	-	9	9	9
Фосфор фосфатов (по Р)	4	1-1,5	1-1,5	1-1,5

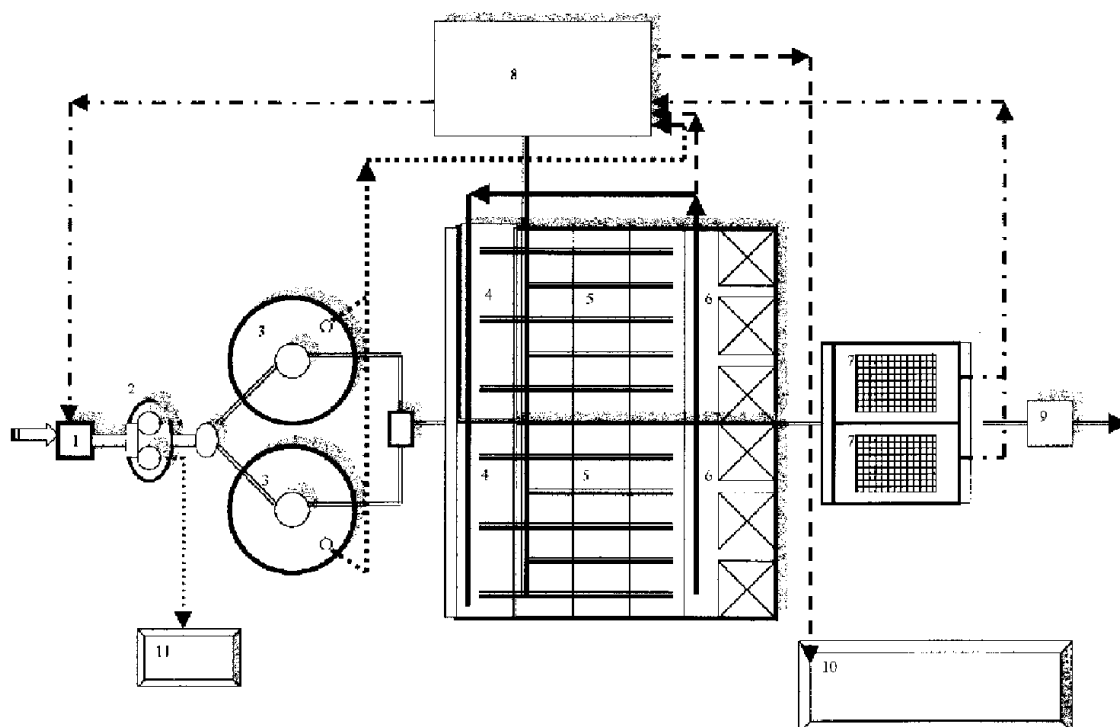


Рис. 7.13. Технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 1000- 25000 м³/сут: 1 - приёмная камера; 2 - тангенциальные песколовки; 3 - первичные отстойники с камерой; 4 - денитрификатор; 5 - нитрификатор; 6 - вторичный отстойник; 7 - биореактор доочистки; 8 - производственное помещение; 9 - дезинфекция сточных вод; 10 - песковые площадки; 11 - аварийные иловые площадки

Из приёмной камеры сточные воды поступают в две тангенциальные песколовки и далее в два существующих первичных вертикальных отстойника.

Биологическая очистка на очистных сооружениях в аэротенке проходит по одноиловой системе с чередующимися зонами денитрификации и нитрификации, разделёнными металлическими перегородками. Число секций аэротенков -2, общая длина вместе с вторичными отстойниками 27 м, ширина коридоров 6 м.

Аэротенки выполнены из монолитного железобетона и покрыты изнутри специальной гидроизолирующей смесью. Для аэрации в нитрификаторах приняты аэраторы тарельчатого типа с резиновой перфорированной мембраной, в зоне денитрификации перемешивание иловой смеси осуществляется через щелевые трубы.

Разделение иловой смеси происходит во вторичных двухбункерных отстойниках, время отстаивания принято 3,5 ч. Рециркуляционный активный ил направляется в первую зону денитрификаторов, а избыточный активный ил - в аэробные стабилизаторы с уплотнителем, встроенные в общий блок сооружений.

После вторичных отстойников вода доочищается в двух биологических реакторах, установленных отдельно. Для загрузки биореакторов был использован загрузочный материал «Контур», производимый фирмой «Этек», высота слоя загрузки 2,0 м. Осадок после регенерации фильтра откачивается эрлифтами во вторичный отстойник.

Дезинфекция осуществляется на установках ультрафиолетового облучения фирмы «Лит». При разработке проекта очистных сооружений предусмотрен вариант со строительством контактных резервуаров и хлораторной, работающей на жидком привозном гипохлорите. Контактные сооружения находятся в общем блоке сооружений и рассчитаны на время отстаивания 0,5 ч.

Избыточный активный ил после аэробной стабилизации направляется на два ленточных фильтр-пресса с предварительным добавлением в иловую смесь флокулянта. На случай аварии предусмотрены четыре иловые площадки размером 18 × 24 м. Далее очищенная сточная вода самотеком направляется в насосную станцию, которая перекачивает ее для сброса в р. Москва.

Физико-химическая очистка сточных вод на очистных сооружениях
пропускной способностью 10 - 25 тыс. м³/сут

Принципиальная технологическая схема физико-химической очистки, разработанная в ОАО НИИКВОВ (рис. 7.14), включает следующие процессы:

– задержание крупных плавающих загрязнений и песка на сооружениях механической очистки (решётках и песколовках);

- введение в сточную воду реагентов, коагулянтов и флокулянтов с образованием крупных хлопьев и перемешиванием воды при помощи механических мешалок;
- осаждение образовавшихся взвешенных веществ в отстойниках;
- фильтрование осветлённой воды для задержания неосевших хлопьев;
- обеззараживание очищенной воды:
- механическая обработка в фильтр-прессах или центрифугах.

По исследованиям ОАО НИИКВОВ была определена возможность применения различных вариантов коагулянтов в оптимальных концентрациях FeCl_3 – 120 мг/л и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 120 мг/л (по безводному продукту), однако при использовании высокомолекулярных катионоактивных флокулянтов в концентрации от 1 до 5 мг/л, доза химических реагентов резко снижается.

Впервые в отечественной практике станция физико-химической очистки городских сточных вод была запроектирована для строительства в 1976 г.

Сброс очищенных сточных вод осуществляется в открытую оросительную сеть, в связи с чем предъявлялись жесткие требования к степени их очистки: содержание взвешенных веществ и БПК_{полн} в очищенной воде должно быть не выше 5-6 мг/л.

Учитывая наличие в сточных водах предприятий пищевой промышленности значительного количества трудноокисляемых органических веществ, обеспечить такие показатели путем доочистки биологически очищенных сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой или в биологических прудах практически невозможно. В этих условиях представляется целесообразным применение физико-химической очистки.

Пропускная способность очистных сооружений составляет 10 тыс. м³/сут (на расчетный срок 21 тыс. м³/сут). Однако вследствие большого коэффициента часовой неравномерности, который равен 2,5 (в результате сброса производственных сточных вод), расчетный расход сточных вод

составляет $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соответствует суточному расходу $17 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$ Суммарное же количество загрязнений по БПК_{полн} соответствует станции пропускной способностью $25 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ при концентрации загрязнений по БПК_{полн} 200 мг/л . Такая концентрация загрязнений наиболее характерна для городских сточных вод. В качестве реагентов были использованы железный купорос и полиакриламид.

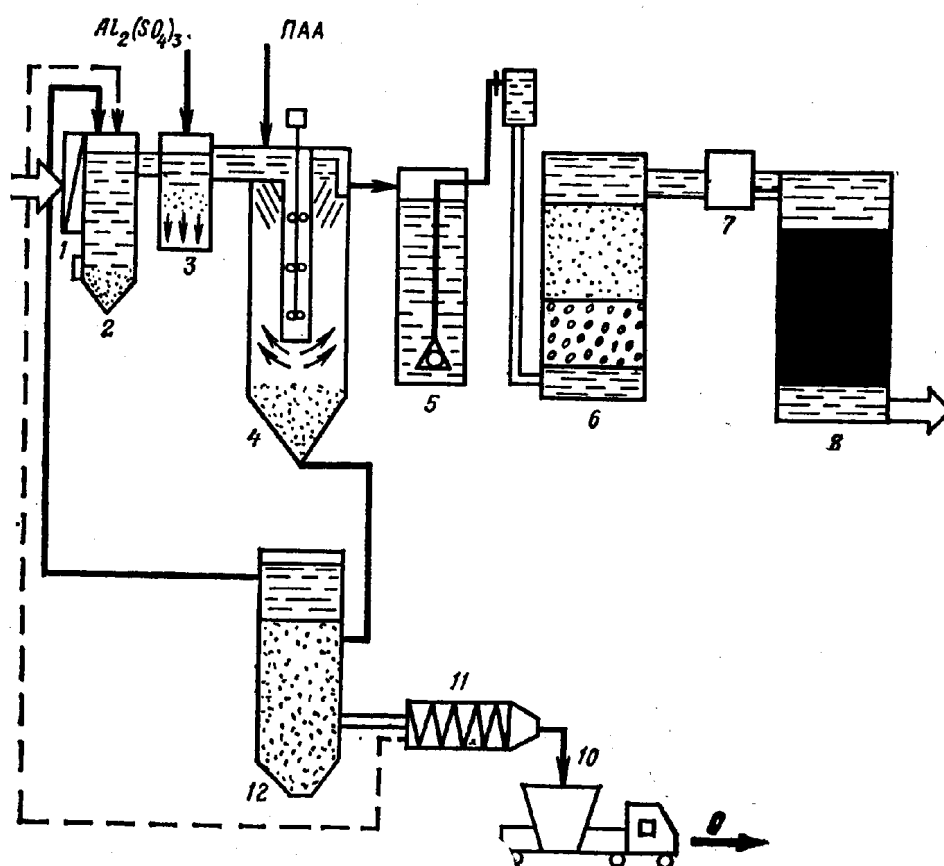


Рис. 7.14. Технологическая схема физико-химической очистки городских сточных вод пропускной способностью $10000\text{-}25000 \text{ м}^3/\text{сут}$: 1 - решётка; 2 - песколовка; 3 - смеситель; 4 - отстойник; 5 - резервуар для осветлённой воды; 6 - гравийно-песчаный фильтр; 7 - электролизёр; 8 - фильтр с активным углём; 9 - осадок на вывоз; 10 — платформа для осадка; 11 - центрифуга; 12 - уплотнитель осадка

Для очистки сточных вод принята следующая технологическая схема очистки сточных вод: коагулирование, отстаивание, фильтрование через пористую загрузку и доочистка в биологических прудах.

Применение доочистки в биологических прудах обусловлено

необходимостью следующих мероприятий:

- удаление остаточных органических загрязнений, составляющих по БПК_{полн} 20-30 мг/л, представленных в основном легкоокисляемыми веществами;
- удаление соединений азота;
- ликвидация возможного «проскока» двухвалентного железа;
- создание «буферных» сооружений, ликвидирующих последствия кратковременных нарушений технологического режима, связанных с недостаточным опытом эксплуатации сооружений и отсутствием отработанной схемы автоматизации.

В состав станции включены: контрольные решетки; аэрируемые песколовки, выполняющие также функцию камеры смешения воды с коагулянтном; камеры хлопьеобразования, встроенные в отстойники (перед камерами в поток вводится раствор ПАА); отстойники радиальные с механизированным удалением осадка (время отстаивания 2 ч); барабанные сетки с прозорами 0,5 мм для задержания плавающих загрязнений перед фильтрами; фильтры Оксипор (в качестве загрузки используется недробленый керамзит); аэрируемые биологические пруды; контактные резервуары, перед которыми в поток вводится хлорная вода; выпуск в открытый оросительный канал.

Песок, выпавший в аэрируемых песколовках, удаляется на песковые площадки.

Осадок из первичных отстойников подается в осадкоуплотнитель, из которого в уплотненном виде перекачивается на механическое обезвоживание на центрифуги (перед центрифугой осадок проходит решетку-дробилку для измельчения крупных включений). Обезвоженный осадок из центрифуги подается на асфальтированные площадки для складирования и компостирования.

Для доочистки приняты барабанные сетки с автоматизированной

системой промывки и фильтры «Оксипор».

Для глубокой очистки сточных вод предусмотрены двухсекционные трехступенчатые аэрируемые биологические пруды.

Продолжительность пребывания сточных вод в каждой ступени составляет около 1 сут. Аэрация осуществляется через перфорированные полиэтиленовые трубы.

В целом при очистке сточной воды по указанной схеме обеспечивается снижение ХПК на 78-80%, БПК₅ на 85-90%, взвешенных веществ на 91-93%. В очищенной воде наблюдается полное отсутствие бактерий группы кишечной палочки.

Примеры очистных сооружений малых городов и посёлков городского типа

К очистным сооружениям небольших малых городов и посёлков городского типа следует отнести станции пропускной способностью от 500 - 10000 м³ /сут. Характерной особенностью небольших населённых пунктов является не только высокий коэффициент неравномерности поступления сточных вод на очистку, изменяющийся от 1,55 до 2,5 и выше, но во многих случаях резкие изменения концентрации загрязнений в сточных водах за счёт поступления промышленных стоков. По данным обследований, многие ранее запроектированные и построенные очистные сооружения небольших населённых пунктов либо вообще не работают, либо работают со значительной перегрузкой по воде и концентрациям загрязнений. В зарубежной практике для уменьшения влияния неравномерности притока и колебаний качественного состава загрязнений в технологическую схему введены усреднители.

Другой особенностью очистных сооружений небольших населённых пунктов является применение упрощённых технологических схем с использованием сооружений заводской готовности. Это связано с тем, что для изготовления этих очистных сооружений используют обычную конструкционную сталь марки Ст3 без специальной обработки металла.

Поэтому при разработке современных очистных сооружений необходимо использовать или нержавеющую сталь или изготавливать сооружения из монолитного железобетона.

Станции пропускной способностью 500 - 15000 м³/сут с применением биофильтров с плоскостной загрузкой

Технологическая схема очистки сточных вод с применением биофильтров с плоскостной загрузкой включает следующие сооружения:

- приёмная камера и решётки;
- тангенциальные песколовки;
- первичный вертикальный отстойник;
- насосная станция биофильтров;
- биореакторы доочистки сточных вод;
- сооружения дезинфекции сточных вод на установках ультрафиолетового облучения или хлораторная на жидком гипохлорите;
- производственно-вспомогательное здание (компрессорная для регенерации биореакторов, ленточные фильтр-прессы для обработки смеси сырого осадка и омертвевшей биоплёнки);
- песковые бункера или площадки;
- аварийные иловые площадки.

На рис. 7.15 приведена технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 1000 - 10000 м³ /сут. Основным элементом биологической очистки является биофильтр с плоскостной загрузкой. Из всех приведённых выше технологических схем очистки сточных вод небольших населённых пунктов наиболее простой в эксплуатации является очистка сточных вод на биофильтрах с плоскостной загрузкой.

Сточные воды, поступающие в приёмную камеру очистных сооружений, проходят очистку на решётках и далее в песколовках и первичных вертикальных отстойниках. После механической очистки сточная вода

собирается в насосной станции с погружными насосами, которые подают её в оросительную сеть биофильтров. В качестве оросителей биофильтров принята водоструйная система орошения, которая обеспечивает равномерное орошение поверхности загрузочного материала. Высоту слоя загрузочного материала биофильтров следует принять 6 м.

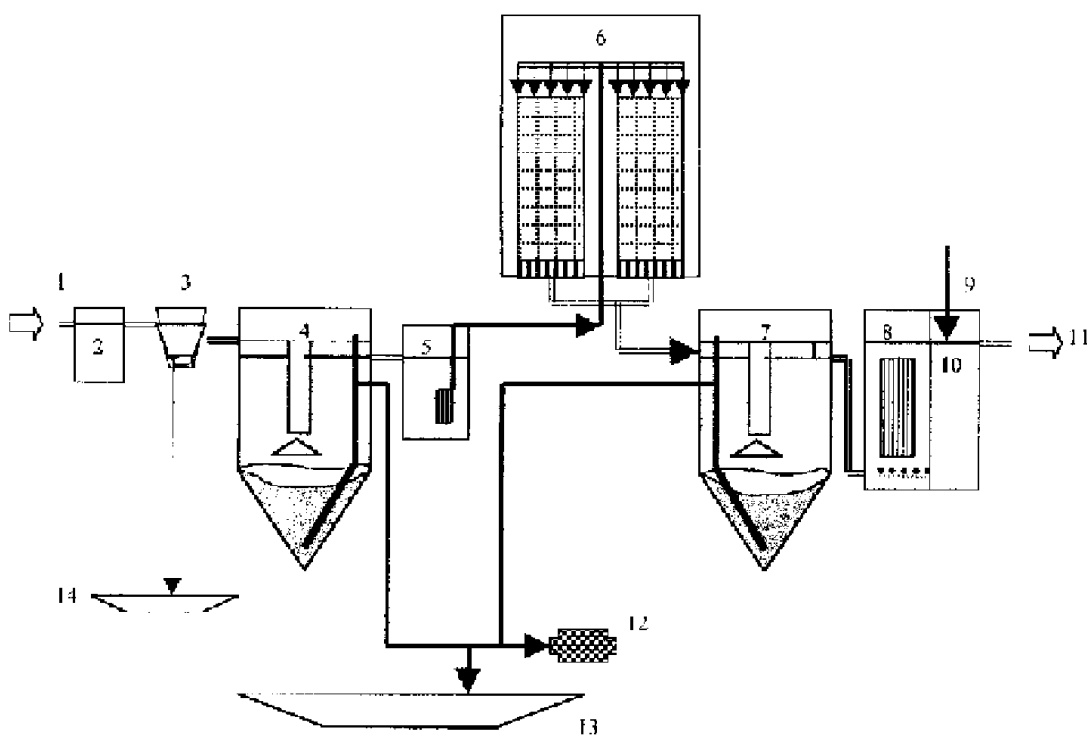


Рис. 7.15. Технологическая схема очистки сточных вод небольшого населённого пункта на биофильтрах с плоскостной загрузкой пропускной способностью 1000-10000 м³/сут: 1- поступающая сточная вода; 2 - приёмная камера с решёткой; 3 - тангенциальные песколовки; 4 - первичный вертикальный отстойник; 5 - насосная станция биофильтров; 6 - биофильтры с плоскостной загрузкой; 7 - вторичный вертикальный отстойник; 8 - биореактор доочистки; 9 - жидкий гипохлорит натрия; 10 - контактные резервуары; 11 - очищенная сточная вода; 12 - фильтр-пресс; 13 - аварийные иловые площадки; 14 - песковые площадки или бункера

После биологической очистки в биофильтрах с плоскостной загрузкой очищенная сточная вода проходит осветление во вторичных отстойниках, доочистку в биореакторах и после дезинфекции сбрасывается в водоём.

Станции пропускной способностью 500 - 15000 м³/сут

В зависимости от применяемых сооружений биологической очистки возможно использовать три технологические схемы очистки сточных вод.

В первой схеме в качестве сооружений биологической очистки используются аэротенки с продлённой аэрацией (или аэротенки отстойники, работающие на полное окисление), во второй схеме используются усреднители и аэротенки с одноиловой системой денитри-нитрификации (аэротенки могут быть с затопленной загрузкой или без неё). В третьей схеме биологическая очистка осуществляется на биофильтрах с плоскостной загрузкой.

Технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 100 - 1000 м³/сут включает следующие сооружения:

- немеханизированные решётки с ручной очисткой;
- тангенциальные песколовки;
- аэротенки-отстойники с продлённой аэрацией (или как их ещё называют аэротенки полного окисления);
- биореакторы доочистки сточных вод;
- контактные резервуары;
- аэробный стабилизатор активного ила; песковые и иловые площадки.

На рис. 7.16 приведена технологическая схема очистки небольшого населенного пункта пропускной способностью 500 м³/сут.

Очистные сооружения обслуживают населённый пункт с населением 2000 жителей.

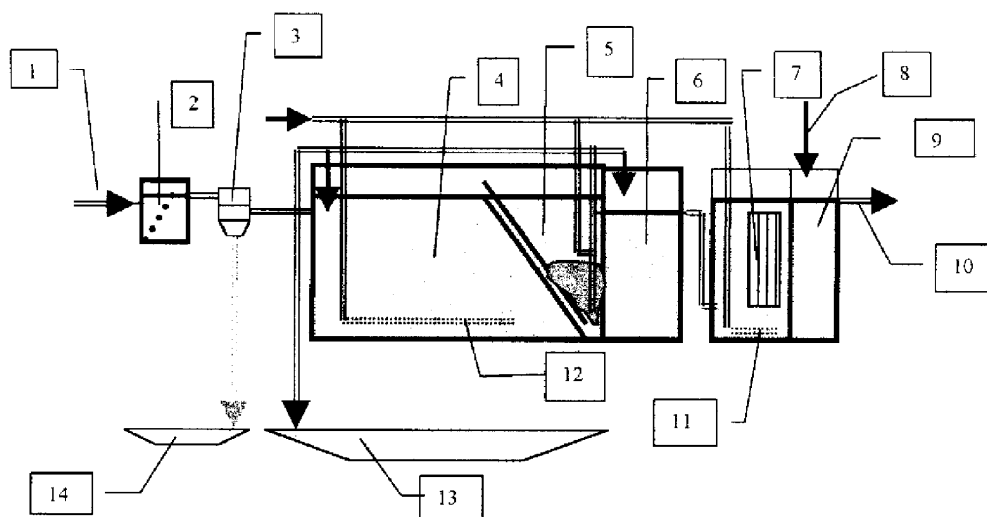


Рис. 7.16. Технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 100 - 1000 м³/сут: 1 - поступающая сточная вода; 2 - приёмная камера с решёткой; 3 - тангенциальная песколовка; 4 - аэротенк продлённой аэрации; 5 - вторичный отстойник; 6 - аэробный стабилизатор активного ила; 7 - биореактор доочистки; 8 - гипохлорит натрия; 9 - контактный резервуар; 10 - очищенная сточная вода; 11 - аэрационная система регенерации биореактора; 12 - аэрационная система; 13 - иловые площадки; 14 - песковые площадки

К приёмной камере с установленной там решёткой сточные воды подаются погружными насосами из насосной станции, находящейся на территории очистных сооружений. Далее сточные воды поступают в двухсекционную тангенциальную песколовку.

Биологическая очистка на очистных сооружениях проходит в аэробном режиме с длительностью пребывания воды 16 ч. Воздух распределяется через дырчатые трубы, диаметр отверстий составляет 3 мм.

Очищенные воды отделяются от осадка в четырёх отстойниках, время отстаивания составляет 3,2 ч. Рециркуляционный активный ил направляется в начало аэротенков, а избыточный активный ил - в аэробные стабилизаторы с уплотнителем, встроенные в общий блок сооружений.

После вторичных отстойников вода доочищается в четырёх биологических реакторах, установленных отдельно и сблокированных с контактными резервуарами. Для загрузки биореакторов был использован загрузочный «Контур». Осадок после регенерации фильтра откачивается

эрлифтами во вторичный отстойник.

После фильтрации общий поток сточной воды поступает в четыре контактных резервуара и далее самотеком направляется в насосную станцию, которая перекачивает ее для сброса в р. Пахра.

Избыточный активный ил после аэробной стабилизации, в течение 7 суток и уплотнения, направляется на две иловые площадки размером 18×18 м. Обезвоженный активный ил после подсушивания вывозится с территории очистных сооружений на специализированный полигон.

Поля орошения и поля фильтрации

Поля орошения и поля фильтрации представляют собой специально подготовленные и спланированные участки земли - карты, являются одними из первых сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях и известны с давних времен. На территории современного СНГ поля орошения появились в Одессе (1887 г.), затем в Киеве (1894 г.) и Москве - Люблинские поля орошения (1898г.).

Сущность процесса биологической очистки на полях орошения и полях фильтрации заключается в контакте загрязнителей сточных вод, которые находятся во взвешенном, коллоидальном, или растворенном состоянии, с иммобилизованными микроорганизмами почвенного слоя. Эти микроорганизмы сосредоточены, в основном, на глубине до 0,4 м, что обеспечивает оптимальную аэрацию. Во время этого контакта за счет процессов биосорбции, биоразложения и механической фильтрации сточных вод происходит их очистка.

Предварительное отстаивание сточной жидкости, перед ее подачей на поля, позволяет выделить из нее 50-60% общего числа бактерий и 50-60% (а после горизонтальных отстойников и 95%) яиц гельминтов. Общее снижение концентрации загрязнений по БПК_{полн} и взвешенным веществам может составлять 100%.

Концентрация питательных элементов (азота, фосфора и калия) в

бытовых сточных водах зависит от нормы водоотведения и в среднем составляет: азота 15-60 мг/л; фосфора 3-12 мг/л и калия 6-25 мг/л. Из всей массы удобрительных веществ, внесенных со сточными водами, растениями используется только их часть, приблизительно: азота 50%, фосфора 40% и калия 90%. Остальная часть питательных веществ выносится вместе с дренажной водой, а азот частично улетучивается в атмосферу.

Отличаются поля орошения от полей фильтрации тем, что на полях орошения выращиваются овощи, злаки, плодовые и декоративные деревья и кустарники, технические культуры и т.п., утилизируя тем самым биогенные элементы (азот, фосфор, калий и др.), а поля фильтрации служат только для очистки сточных вод.

Существуют коммунальные поля орошения, которые используются в основном для очистки сточных вод, а выращивание сельскохозяйственной продукции играет вспомогательную роль, и земельные поля орошения, которые служат для полной биологической очистки сточных вод и планового выращивания сельхозпродукции.

Поля орошения могут устраиваться во всех климатических зонах за исключением районов Крайнего Севера и районов вечной мерзлоты. Глубина залегания грунтовых вод на территории, используемой под поля орошения, должна быть не менее 1,5 м.

Для механизированной обработки поверхности полей орошения тракторами площадь одной карты должна быть не менее 1,5 га, при этом отношение ширины к длине карты должно находиться в пределах от 1:2 до 1:4.

Разность отметок двух смежных карт, при высотном проектировании, не должна превышать 1 м. Если рельеф местности не позволяет выполнить это условие, то между картами обязательно следует предусмотреть осушительный (дренажный) канал.

Размеры распределительных и оградительных валиков зависят от типа

грунта и конструкции подводящей и распределительной сети. Высота валиков должна быть не более 1м, а ширина по верху не менее 0,7 м. Величина заложения откосов от 1:1,5 для супесей и легких суглинков до 1:2 для песка.

Оптимальные грунты для устройства полей орошения песчаные и супесчаные, фильтрационная способность суглинков и черноземов ниже. Торфяные грунты необходимо предварительно осушать, а на тяжелых суглинках и глинах устройство полей орошения невозможно. Оптимальный уклон спланированных карт полей орошения от 0,005 до 0,015. Допускается естественный уклон местности до 0,03. Не допускается применение полей орошения на территории, расположенной в области питания артезианских и грунтовых безнапорных вод, а также при наличии трещиноватых пород и карстовых пустот, не перекрытых водоупорным слоем. Поля орошения и поля фильтрации рекомендуется располагать вниз по течению грунтовых вод от водозаборных сооружений на расстоянии не менее 200 м – для легких суглинков, 300 м - для супесей и 500 м – для песчаных грунтов. По отношению к населенным пунктам поля фильтрации с расходом до $5000\text{м}^3/\text{сут.}$ рекомендуется располагать с подветренной стороны с разрывом (защитной зоной) не менее 300 м. для полей орошения защитная зона – 200 м. По контуру полей обычно высаживают иву или другие влаголюбивые деревья. Ширину полосы насаждений принимают 10-20 м в зависимости от удаленности полей от населенных пунктов. Межполивной период для полей фильтрации колеблется от 5 до 10 суток, для полей орошения он устанавливается по графику полива сельскохозяйственных культур.

Для определения необходимой площади полей орошения и полей фильтрации используют экспериментально определенную норму нагрузки, которая зависит от климатической зоны, характеристики грунтов, вида полей и т.д. Но, в первую очередь, норма нагрузки зависит от водо-воздушного режима полей. Оптимальная для роста растений влажность почвы находится

в пределах 40-60% ее пористости (скважности), т.е. примерно половина пустот почвы занята водой, остальная воздухом.

При определении требуемой площади орошения необходимо различать следующие виды норм нагрузок, м³/га:

- среднесуточная норма – объем сточных вод, приходящийся на 1 га орошаемой площади полей в среднем за 1 сутки в течение определенного периода (обычно принято указывать среднесуточную норму за год);
- оросительная норма – объем воды, который необходим для выращивания определенной культуры за весь вегетационный период;
- поливная норма – объем воды, который подается за один полив;
- удобрительная норма – объем воды, который требуется для выращиваемой культуры исходя из потребности в биогенных элементах;
- норма зимнего орошения.

Нормы нагрузки, по данным многолетней эксплуатации, для коммунальных полей орошения представлены в табл. 7.7, для полей фильтрации в табл. 7.8 и для коммунальных полей орошения, в условиях Подмосковья (на супесчаных грунтах, по данным П.С. Севостьянова и А.А. Кухаренко) в табл. 7.9.

Полезную площадь полей фильтрации определяют по среднесуточной норме нагрузки:

$$F = Q / q \quad (7.1)$$

где Q – приток сточных вод, м³/сут;

q – нагрузка сточных вод на поля фильтрации, м³/га в сут.

В холодный период года фильтрация через грунт значительно снижается, а при промерзании грунта полностью прекращается. Поэтому на полях фильтрации предусматриваются резервные участки под намораживание. Площадь таких участков определяется по формуле:

$$F_n = Q_t / q_{\beta} \quad (7.2)$$

где t - время намораживания, сут;

β – коэффициент, характеризующий величину зимней фильтрации, определяется по СП.

Резервная площадь, предусмотренная для таяния намороженных за зимний период сточных вод и ремонта карт полей фильтрации, не должна превышать полезную площадь F более чем на 10% в III и IV климатического района и соответственно 20 и 25% для II и I климатических районов.

При проектировании дренируемых полей фильтрации необходимо учитывать количество воды, отводимой с 1 га площади полей (модуль стока)

$$q_{cm} = aq \cdot t K_H 10 / 864t \quad (7.3)$$

где a – коэффициент просачивания, принимается 0,5;

t' – период между поливами, сут;

K_H – коэффициент неравномерности притока сточных вод в дренажную сеть, равный 1,5;

t – время, за которое должна быть отведена вода, сут (обычно $t = 0,4-0,5t'$).

Расчетный секундный расход одной дрены

$$q_{dp} = q_{cm} \cdot s \quad (7.4)$$

где s – площадь участка обслуживаемого одной веткой дренажа, га.

$$s = B_1 / 10^4 \quad (7.5)$$

где B – ширина карты, м ; l – расстояние между дренами.

Расстояние между дренами зависит от вида грунта, глубины осушаемого слоя и заложения дрен, количества отводимой воды и т.д. Обычно это расстояние составляет для легких суглинков 8-10, супесей 12-15 и песчаных грунтов 16-25 м.

Таблица 7.7

Нормы нагрузки осветленных бытовых сточных вод на поля орошения (районы со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300-500 мм)

Среднегодовая температура воздуха, °С	Сельскохозяйственные культуры	Нагрузка на поля орошения, м ³ /га в сут, в зависимости от грунта			
		Тощая глина	Суглинок	Супесь	Песок
До 3,5	Огородные	20	30	40	60
	Полевые	10	15	20	30
3,5-6	Огородные	25	35	50	75
	Полевые	15	20	25	40
6,1-9,5	Огородные	35	45	60	80
	Полевые	20	25	30	40
9,6-11	Огородные	50	60	70	85
	Полевые	25	30	35	40
11,1-15	Огородные	60	70	80	90
	Полевые	30	35	40	45

Примечание: Для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков 500-700 мм, нормы нагрузки на поля орошения следует уменьшать на 10-15%. Для районов со среднегодовой нормой осадков более 700 мм – на 15-25%. Больший процент принимают для суглинистых грунтов, меньший – для песчаных грунтов.

Таблица 7.8

Нормы нагрузки осветленных сточных вод на поля фильтрации (районы со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300-500 мм)

Грунт	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка на поля фильтрации, м ³ /га в сут, при глубине грунтовых вод, м		
		1,5	2	3
Легкий суглинок	До 3,5	50	55	60
	3,5-6	60	70	75
	6-11	70	75	85
	11-15	80	85	100

Грунт	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка на поля фильтрации, м ³ /га в сут, при глубине грунтовых вод, м		
		1,5	2	3
Супесь	До 3,5	80	85	100
	3,5-6	90	100	120
	6-11	100	110	130
	11-15	120	130	150
Песок	До 3,5	120	140	180
	3,5-6	150	175	225
	6-11	160	190	235
	11-15	180	210	260

Примечания: 1. Для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 500-700 мм нормы нагрузки на поля фильтрации следует уменьшать на 15-25%, а для районов со среднегодовой высотой слоя более 700 мм - на 25-35%, при этом больший процент снижения нагрузки принимают для суглинистых грунтов, а меньший — для песчаных. 2. Нормы нагрузок для глинистых и прочих грунтов, не приведенные в таблице, следует принимать по данным эксплуатации полей, работающих в аналогичных условиях.

К отрицательным последствиям применения почвенного метода очистки сточных вод на полях следует отнести возможность накопления в почве биологически неокисляемых загрязнений, попадания в нее со сточными водами компонентов, губительно влияющих на почвенную флору и фауну, растущую стоимость и трудность приобретения земельных участков вокруг населенных пунктов. Таким образом, устройство полей орошения или полей фильтрации следует рассматривать как возможную временную меру, с последующим переходом на сооружения искусственной биологической очистки.

Таблица 7.9

Нормы для полей орошения

Выращиваемая культура	Оросительная норма, м ³ /га с 20-25 мая по 1-10 сентября
Капуста ранняя и цветная	2500-6300
Капуста поздняя	5000-7000
Помидоры	4000-4500
Свекла столовая	3000-6500
Свекла кормовая	5000-9000
Картофель	1800-2500
Луговые травы	5000-10000 и более

Биологические пруды и лагуны

Биологические пруды могут применяться как самостоятельные сооружения биологической очистки, или для глубокой очистки сточных вод после сооружений искусственной биологической очистки. Биологические пруды бывают с естественной и искусственной аэрацией, контактные, проточные, серийные (состоящие из каскада прудов).

Биологические пруды представляют собой мелкие котлованы глубиной от 0,5 – 1 м при естественной аэрации и до 3-4,5 м (в зависимости от характеристики аэрирующего устройства) при искусственной. Располагают их на слабофильтрующих грунтах.

Как правило, биологические пруды имеют прямоугольную форму и вытянуты по ходу движения воды. Соотношение длины к ширине в биологических прудах с естественной аэрацией должно быть 1:1,5, при искусственной – 1:3. Во избежание образования застойных зон сточную воду в биологические пруды подают рассредоточено, с расстояниями между впусками 5- 10 м при БПК_{полн} менее 200 мг/л и 10-15 м при БПК_{полн} более 200 мг/л. Направление движения сточной жидкости в биологических прудах должно быть перпендикулярно направлению господствующих ветров.

По характеру протекающих в биологическом пруду процессов они подразделяются на три основных вида: аэробные, факультативные и

анаэробные.

Аэробные биологические пруды содержат кислород по всей глубине воды, которая составляет обычно 0,3-0,45 м, что достигается за счет реаэрации и процессов фотосинтеза.

Факультативные биологические пруды, имеющие глубину от 1,2 до 2,5 м, наиболее часто применяются для глубокой очистки сточных вод после механической и неполной биологической очистки. Также эти пруды называются аэробно-анаэробными. Верхний слой таких прудов насыщен растворенным кислородом, а в нижнем происходит анаэробное разложение донных осадков.

Анаэробные биологические пруды работают с очень высокими нагрузками по органическим загрязнениям. Основные биохимические процессы, протекающие в них, – образование кислот и метановое брожение.

Искусственная аэрация биологических прудов позволяет значительно интенсифицировать процессы биохимической очистки сточных вод, увеличить глубину пруда до 3-4 м, что стабилизирует процесс и позволяет сделать биопруды значительно компактнее. Искусственная аэрация осуществляется механическим или пневматическим способом, возможно применение струйной аэрации. Разработаны типовые проекты биологических прудов с искусственной аэрацией и пропускной способностью 12; 25 и 50 м³/сут. Расчет площади биологических прудов F производится по формуле:

$$F = C_p Q (L_a - L_t) / \alpha (C_p - C) \cdot r, \text{м}^2 \quad (7.6)$$

где C_p - растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л;

Q – расход сточных вод, м³/сут;

α - коэффициент, характеризующий долю площади активной поверхности пруда от общей (принимается равным 0,5-0,6 при сильно изрезанных берегах пруда и 0,8-0,9 при спокойных берегах);

C – рабочая концентрация растворенного кислорода, мг/л (принимается

равной 2 мг/л);

r –коэффициент атмосферной реаэрации, принимается равным 4 г/м² в сут.

В последние годы широкое распространение получили биологические пруды с высшей водной растительностью (ВВР). В таких прудах по определенной схеме высаживают такие водные культуры, как камыш, тростник, рогоз, ртуть, рдест, водный гиацинт, телорез и др. Растения интенсифицируют процесс очистки, удаляют биогенные элементы, активно используя их в своем питании, изымают из воды и аккумулируют тяжелые металлы, радиоактивные изотопы и другие специфические загрязнения. Выделяемые ВВР фитонциды способствуют обеззараживанию воды. Поскольку ВВР является конкурентом одноклеточных и мелких водорослей по изъятию из водной среды биогенных элементов и других загрязнений культивирование ВВР предпочтительнее. Это объясняется тем, что ВВР очень быстро развивается, следовательно, потребляет большое количество питательных веществ, изымая их из воды, например, рогоз широколистный и узколистный в середине июля дает среднесуточное приращение побегов до 6,5 см и корневищ до 9 см, а телорез прирост биомассы до 8 г на одно растение. Вместе с тем, ВВР легче удалить из биопруда (например, специальными плавающими понтонными косилками), чем мелкие водоросли, что предотвращает вторичное загрязнение водоема, обусловленное разложением отмершей растительной биомассы.

Общее снижение концентрации загрязнений по БПК_{полн} может достигать 60-98%, а по взвешенным веществам 90-98 %.

Биологические пруды требуют создания широких санитарно-защитных зон (200 м).

Сооружения для локальной очистки сточных вод

При расходах сточных вод свыше 25 м³ /сут технологическая схема их очистки включает узел механической очистки – решетки, песколовки,

первичные отстойники и биологической очистки – аэротенки с продленной аэрацией, биофильтры различных конструкций, циркуляционные окислительные каналы. В случае выпуска очищенных сточных вод в водоем необходима их дезинфекция.

Решетки устанавливаются на очистных станциях пропускной способностью от $25 \text{ м}^3/\text{сут}$, оборудованных двухъярусными отстойниками. Как правило, на малых очистных сооружениях устанавливается одна решетка с ручным удалением осадка. Такие решетки изготавливаются непосредственно на очистных сооружениях и отличаются простотой обслуживания. При количестве отбросов менее $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ применяются простейшие решетки иногда в виде корзины объемом 20-25 л, которая устанавливается в приемном резервуаре насосной станции. На решетках с шириной прозоров 16-20 мм задерживается при ручной очистке 4 - 5 л отбросов на 1 чел в год, влажностью 80% и плотностью $0,75 \text{ т}/\text{м}^3$.

Песколовки предназначены для удаления минеральных примесей крупностью 0,25 мм и более и применяются на очистных сооружениях производительностью более $100 \text{ м}^3/\text{сут}$. Как правило, на малых очистных сооружениях применяют горизонтальные песколовки с ручным (при количестве улавливаемого песка менее $0,5 \text{ м}^3/\text{сут}$) или механическим удалением песка. Имеются типовые проекты горизонтальных песколовок производительностью 400, 700, 1400 и $2700 \text{ м}^3/\text{сут}$. Одной из разновидностей горизонтальных песколовок являются песколовки с круговым движением воды, особенность которых заключается в том, что вода в них движется по периферийному лотку в резервуаре конической формы (рис. 15.3). Существуют также тангенциальные песколовки с вертикальным движением воды (рис. 15.3, б), в которых выделяются минеральные примеси гидравлической крупностью 18-24 мм/с. Преимущество таких песколовок в компактности, высокой производительности и простоте обслуживания.

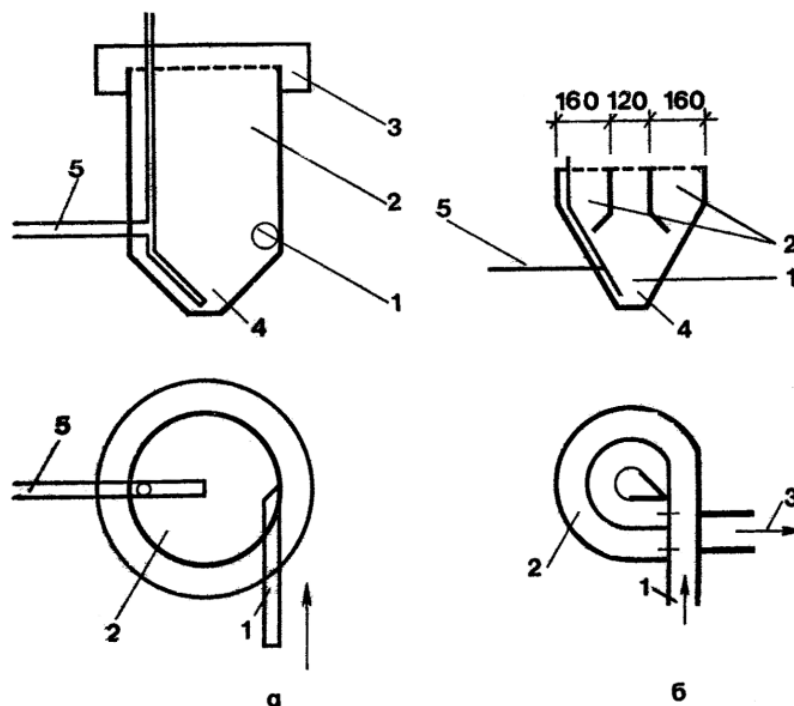


Рис. 7.19. Песколовки: а- тангенциальная с вертикальным движением воды, б- горизонтальная с круговым движением воды; 1 - подача сточных вод; 2 - рабочая емкость; 3 - отвод сточных вод; 4 - емкость для выделенного песка; 5 - трубопровод для удаления песка

Расчет песколовок производится по гидравлической нагрузке, максимальное значение которой не превышает $110 \text{ м}^3/\text{м}^2$. Диаметр песколовки не превышает 6 м. По опыту эксплуатации, при скорости движения воды 0,6-0,8 м/с эффективность удаления песка составляет 90%, его влажность 20% и зольность 94%.

Рабочая поверхность песколовки определяется по формуле:

$$F = Q / (n q_0) \quad (7.7)$$

где Q – максимальный приток, $\text{м}^3/\text{ч}$; n - количество песколовок, шт.; q_0 – гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Расчет можно производить по уравнению:

$$F = q_0 / U_0 \quad (7.8)$$

где U_0 – гидравлическая крупность песка, мм/с.

Продолжительность пребывания сточной жидкости в песколовке при максимальном притоке примерно 30 с.

При расчете тангенциальных песколовок глубина песколовки

принимается равной половине её диаметра. Расчетный диаметр частиц уловленного песка 0,2-0,25 мм, количество песка 0,2 л/чел в сутки и плотность песка 1,5 т/м³.

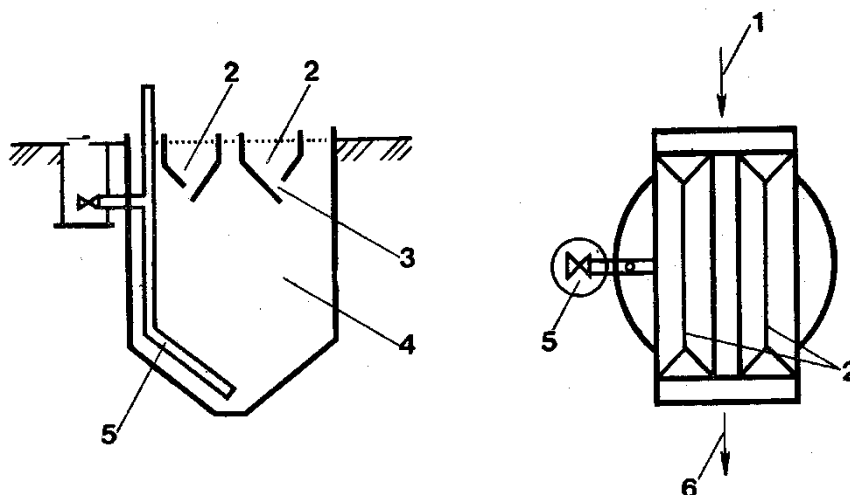


Рис. 7.20. Двухъярусный отстойник: 1 - подача сточных вод; 2 - осадочные желоба; 3 – продольные щели; 4 - септическая часть; 5 - иловая труба; 6 - выпуск осветленной воды

Уловленный песок направляется на песковые площадки или в песковые бункера. Периодичность опорожнения пескового бункера должна быть не менее 1 раза в сутки. Следует отметить, что опорожнение песковых бункеров в зимний период весьма затруднено в связи со смерзанием влажной песчаной массы, поэтому принятие решения о применении песковых бункеров должно быть тщательно проработано.

Двухъярусные отстойники являются сооружениями цилиндрической или прямоугольной формы, с коническим или пирамидальным днищем (рис. 15.4). Перед двухъярусными отстойниками следует устанавливать решетку и песколовку. Как правило, предусматривается одна решетка и одна песколовка с обводным каналом (лотком). В отличие от септика, зона осветления в двухъярусных отстойниках расположена в желобах, находящихся в верхней части сооружения, и представляет собой горизонтальные отстойники. Выпавшие в осадочном желобе взвешенные вещества проваливаются в септическую часть отстойника, где происходит уплотнение и сбраживание осадка. Нижние грани отстойного желоба

перекрывают друг друга на 0,15 м, что предотвращает загрязнение осветленной воды продуктами гниения, выделяющимися при брожении осадка. Глубина осадочного желоба - 1,2-1,5 м.

Расчет двухъярусного отстойника заключается в определении размеров осадочного желоба и иловой камеры. Задавшись продолжительностью пребывания воды в желобе и его высотой H , м, определяют скорость выпадения взвешенных веществ u , мм/с, по формуле

$$u = H/3,6 t \quad (7.9)$$

Эффект задержания взвешенных веществ зависит от скорости их выпадения и изначальной концентрации. Объем всех отстойных желобов $W_{жел}$, м³, и площадь живого сечения одного желоба $\square$, м², определяют по формулам:

$$W_{жел} = qt, \quad (7.10)$$

где t – продолжительность протекания воды в желобе, ч; q – расчетный максимальный расход, м³/с; b – ширина желоба, м; h_1 и h_2 – высота соответственно прямоугольной и треугольной части желоба; L – длина желоба, м (зависит от диаметра типового двухъярусного отстойника); n – число отстойников; $n_{жел}$ – число желобов в отстойниках.

Скорость движения воды в желобах около 2 мм/с, максимально 7 мм/с. Время пребывания сточной жидкости в желобах не менее 2 ч по максимальному притоку. В отстойниках диаметром до 5 м обычно один желоб, более 5 м – два, однако площадь поверхности отстойника, не занятая желобами, должна быть не менее 20% площади отстойника. Длина желоба рекомендуется не менее 6 м, ширина не менее 0,5 м и глубина не более 1,5 м. Объем септической камеры $W_{с.к.}$ зависит от средней зимней температуры воды $t_{ср.з.}$ (табл. 7.11).

Таблица 7.11

Характеристика работы двухъярусных отстойников

Показатели	Средняя температура сточной воды, °С						
	6	7	8,5	10	12	18	20
Время перегнивания, сут	210	180	150	120	90	60	30
Объем септической камеры (на 1 жителя), л	110	95	80	65	50	30	15
Суточная доза загрузки, %	0,73	0,84	1	1,23	1,6	2,66	5,33

Общий объем всех септических камер определяется по формуле

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{ск}} \cdot N_{\text{пр}} \quad (7.11)$$

где $N_{\text{пр}}$ – приведенное число жителей.

Объем септических камер увеличивается на 70% при подаче в них активного ила аэротенков, работающих на полную биологическую очистку, или биопленки высоконагружаемых биофильтров и на 30% при подаче активного ила аэротенков неполной очистки или капельных биофильтров. При подаче отстаиваемых в двухъярусном отстойнике сточных вод на поля фильтрации возможно уменьшение объема септических камер на 20%.

Осадок из двухъярусных отстойников удаляется по иловой трубе диаметром не менее 150 мм под гидростатическим напором не менее 1,6 м.

При среднегодовой температуре воздуха до 3,5 °С отстойники пропускной способностью до 500 м³ /сут располагают в отапливаемом помещении, а при 3,5-6 °С – в неотапливаемом.

Для интенсификации работы двухъярусных отстойников широко используется применение тонкослойных модулей с расположением пластин под углом 30-40° к горизонтали. Высота тонкослойного модуля, как правило, составляет 1-2 м.

Эффект очистки по БПК_{полн} на двухъярусных отстойниках достигает 25-60%, по взвешенным веществам 45-70%.

Биофильтры. Подробно о загрузочных материалах, конструкциях биофильтров с плоскостным загрузочным материалом и методах их расчета см. в главе 4.

На малых очистных сооружениях биофильтры с плоскостным загрузочным материалом желательно располагать в отапливаемом помещении. Одним из недостатков биофильтров с плоскостным загрузочным материалом является плохая приспособленность к значительной неравномерности расхода сточной жидкости малых населенных пунктов, вплоть до прекращения притока сточных вод в ночное время. При значительных перерывах в орошении загрузочного материала возможно высыхание биологической пленки, что приводит к снижению эффективности работы биофильтра. Частично этот недостаток можно устранить введением в схему очистки регулирующей емкости, применением рециркуляции и другими техническими приемами.

За рубежом выпускаются модули погружных биофильтров, рассчитанные на очистку сточной жидкости от 50; 100; 250 и 500 чел., что позволяет быстро расширять уже существующие очистные сооружения.

Аэротенки широко применяются на локальных сооружениях очистки сточных вод. Однако не все типы аэротенков экономически целесообразно применять на сооружениях малой канализации. Как правило, применяются те конструкции, которые хорошо работают в режиме продленной аэрации. Этот режим, который также называется методом полного окисления, отличается значительно большей продолжительностью пребывания сточных вод в аэротенках и полным возвратом или в зону аэрации. Продолжительность аэрации сточных вод в продленном режиме составляет 1-3 сут в зависимости от начальной концентрации сточных вод по БПК. Нагрузка на активный ил по БПК принимается приблизительно 0,05 кг/кг в сут. Аэротенки с продленной аэрацией работают при дозах активного ила по сухому веществу 3-6 г/л. в сут. При расчете режима аэрации рекомендуется принимать расход кислорода 1,42 г на 1 г снижения БПК₅ или 1,25 г на 1 г снижения БПК_{полн}.

Аэротенки, работающие в режиме полного окисления, могут эксплуатироваться с удалением избыточного активного ила или без его

удаления. В последнем случае избыточный активный ил выносится из вторичного отстойника с очищенной сточной водой, что снижает качество очистки, так как иногда вынос взвешенных веществ может достигать 100-120 мг/л. Для получения более высокой степени очистки следует удалять избыточный активный ил из системы, тем более что низкий его прирост позволяет производить эту операцию через значительные промежутки времени.

Широкое применение режима продленной аэрации на малогабаритных очистных сооружениях обусловлено незначительным приростом активного ила и высокой степенью его минерализации, простотой эксплуатации, устойчивостью работы в режимах неравномерного поступления расхода сточных вод, или его перерывах. В режиме продленной аэрации могут работать циркуляционные окислительные каналы, аэротенки-отстойники, биотенки и т.п.

Эффект очистки сточных вод в аэротенках составляет 85-98% по БПК_{полн} и 90-98% по взвешенным веществам.

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) имеют замкнутую форму в плане и оснащены механическими аэраторами, насыщающими сточную жидкость кислородом, перемешивающими ее и поддерживающими активный ил во взвешенном состоянии. Циркуляционные окислительные каналы применяют в районах с расчетной зимней температурой наиболее холодного периода не ниже -25°C . По сути, циркуляционные окислительные каналы являются аэротенками, работающими в режиме продленной аэрации с низкими нагрузками на активный ил. Примерный план очистной станции с циркуляционным окислительным каналом представлен на рис. 15.5. Обычно циркуляционные окислительные каналы выполняют трапецеидального сечения глубиной около 1 м с уклоном откосов от 1:1 до 1:1,5. Стенки и днища их изготавливаются из железобетонных плит и облицовываются искусственными материалами или асфальтируются. Возможно строительство

циркуляционного канала из монолитного железобетона.

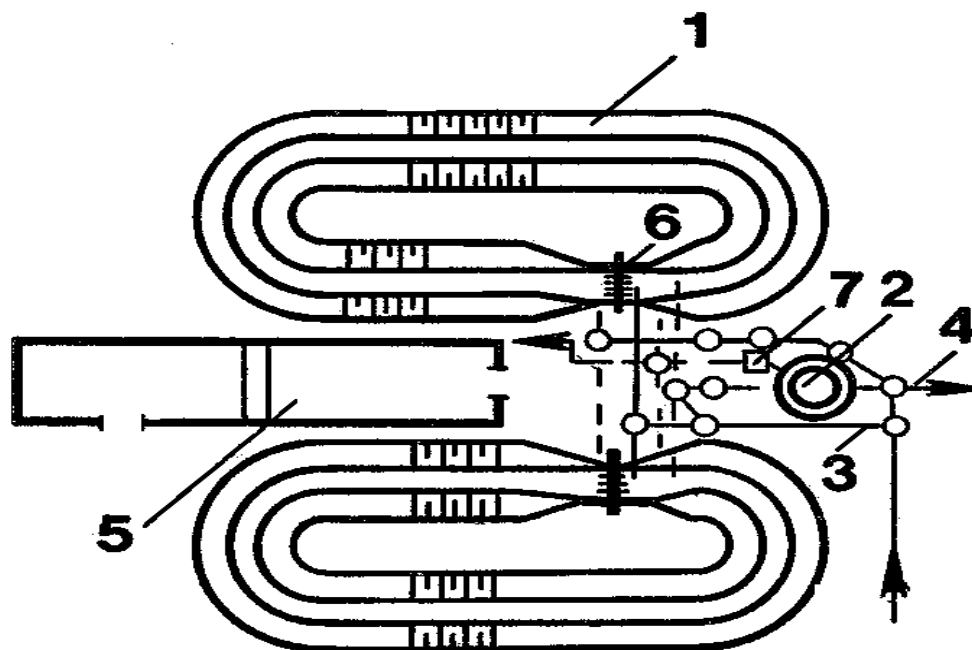


Рис. 7.21. Циркуляционные окислительные каналы: 1 - ЦОК; 2 - вторичный отстойник; 3 - подача неочищенных сточных вод; 4 - выпуск очищенных сточных вод; 5 - иловые площадки; 6 - роторные аэраторы; 7 – иловая насосная станция

Подачу сточных вод осуществляют перед аэраторами, которые устанавливают в начале прямого участка в 10-12 м от поворота. В качестве аэраторов применяются горизонтальные роторные аэраторы со скоростью вращения 100-170 об/мин., лопадки которых погружены в сточную жидкость на 8-13 см, или щеточные аэраторы (щетki Кесснера). Средняя скорость течения воды в ЦОК должна быть не менее 0,4 м/с. Дозу ила в ЦОК принимают 3-4 г/л, средняя скорость окисления составляет 0,18-0,20 г O_2 /г в сут, количество избыточного активного ила – 0,4 кг на 1 кг снятого БПК_{полн}, удельный расход кислорода – 1,25 мг на 1 мг снятой БПК_{полн}. Приросшая в ходе очистки на циркуляционных окислительных каналах биомасса, как правило, выделяется во вторичных вертикальных отстойниках с нисходяще-восходящим потоком жидкости. Большая работа по исследованию и разработке типовых проектов циркуляционных окислительных каналов проводится в ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования, ОАО НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова. В МГСУ совместно с ФГУП

«Союзводоканалпроектом» разработан циркуляционный окислительный канал, оснащенный секциями дискового биофильтра, что позволяет значительно интенсифицировать процесс очистки сточных вод, имеющих высокие концентрации по загрязнениям.

Недостатками циркуляционных окислительных каналов являются их высокая энергоемкость и неприспособленность к температурным колебаниям.

Вспомогательные устройства на очистных сооружениях

Для обеспечения нормальной эксплуатации станций аэрации и биофильтрации в состав очистных сооружений входят как основные, так и вспомогательные сооружения и устройства, без которых невозможна работа станции.

В зависимости от принятых способов очистки сточных вод и обработки осадка выявляется необходимый состав вспомогательных сооружений. К вспомогательным сооружениям относятся, например, иловые насосные станции, воздухоподувные станции, котельные, газгольдеры, мастерские и др.

Кроме вспомогательных сооружений большое место на станции занимают вспомогательные устройства. К ним относятся:

- приспособления для равномерного распределения сточных вод по группам очистных сооружений (распределительные камеры, чаши);
- впускные и выпускные устройства;
- различные желоба и лотки, служащие для транспортирования сточных вод;
- воздуховоды для подачи воздуха в аэротенки и биофильтры;
- гидроэлеваторы, эрлифты для подъема и отвода песка из песколовков, осадка из отстойников;
- приспособления для различных замеров;
- лотки и водосливы для измерения расхода воды.

Имеется множество других приспособлений и устройств, без которых

невозможна нормальная эксплуатация основных и вспомогательных сооружений станции. Правильный расчет и проектирование вспомогательных устройств имеют не меньшее значение, чем расчет основных сооружений. В данном разделе уделено внимание трем основным видам вспомогательных устройств на очистных сооружениях.

Приемные камеры. Сточные воды могут поступать на очистные сооружения по самотечному коллектору или по напорному трубопроводу.

Для приема сточных вод из напорного трубопровода устраивают приемную камеру перед очистными сооружениями. Подача сточной воды в камеру осуществляется на свободный излив сверху (рис. 7.38) или снизу (рис. 7.39). Камера перекрывается съемными щитами. Размеры приемной камеры зависят от пропускной способности очистных сооружений.

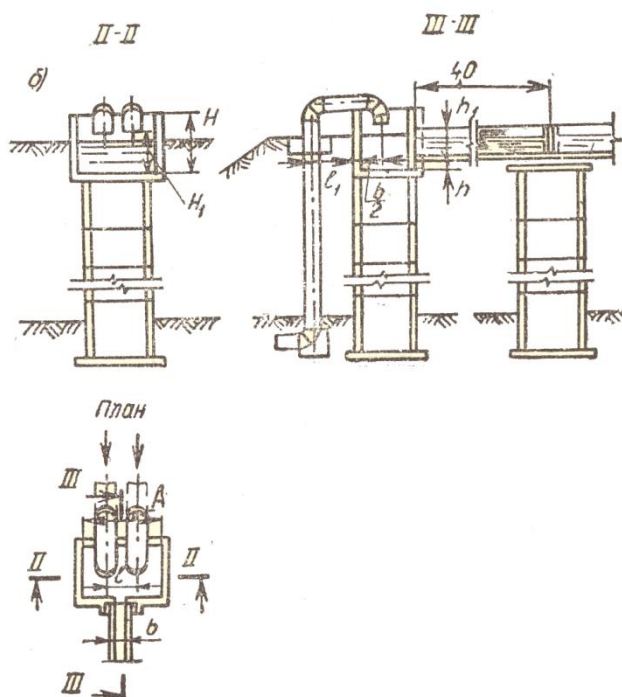


Рис. 7.38. Приемная камера очистных сооружений на опорах из сборных железобетонных колец.

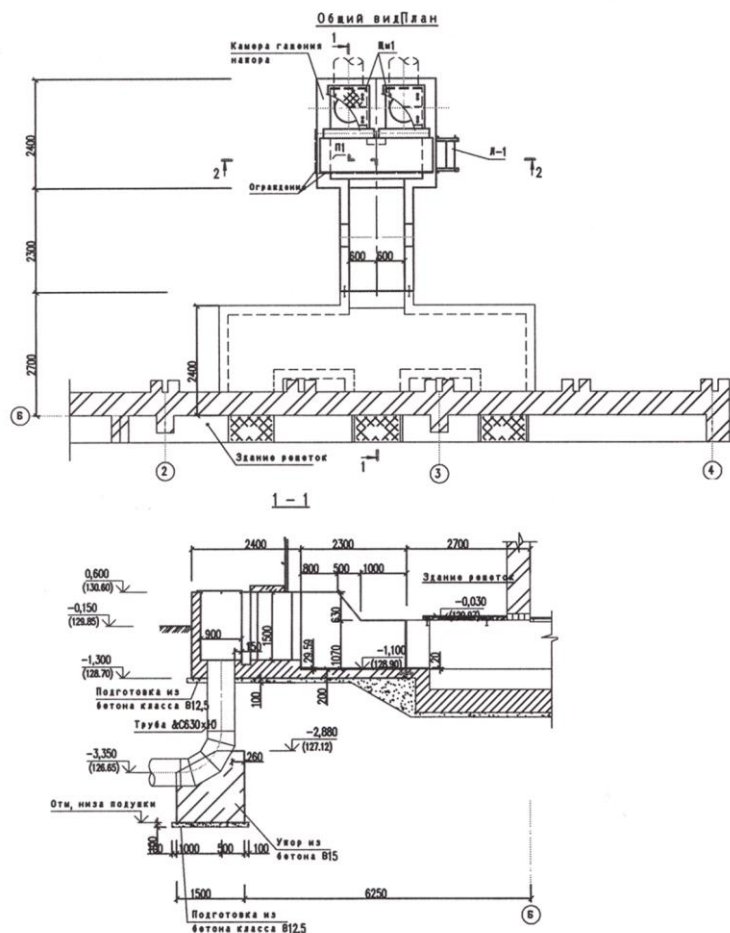


Рис.7.39. Приемная камера очистных сооружений с подачей сточных вод снизу

Распределительные камеры. Равномерность распределения сточных вод между отдельными сооружениями имеет большое значение для их работы. Ввиду того, что состав сточной жидкости неоднороден, для равномерной нагрузки на сооружения важно обеспечить равные расходы на каждое сооружение и равное количество загрязнений. Такого равномерного распределения нельзя достигнуть при помощи произвольно расположенных лотков и шиберов. Для этой цели применяют распределительные устройства: распределительные камеры, распределительные чаши. Диаметр подводящего дюкера следует определять исходя из скорости потока в нем $0,8 - 1,3$ м/с при максимальном расходе.

Сточная вода через водосливные отверстия поступает в приемные колодцы отводящих труб.

Чтобы уменьшить влияние изменения уровня воды в отстойниках на равномерность распределения расхода, перелив через водосливное отверстие должен осуществляться во всех случаях по схеме свободного водослива.

Ширина b , м, водосливных отверстий или свободный напор H , м, на выходе из подводящего дюкера определяется по формуле истечения через свободный водослив:

$$Q_{cp} = mb\sqrt{2gH^{3/2}}$$

где

Q_{cp} – средний расход, поступающий в каждый приемный колодец, м³/с;

m – коэффициент расхода, зависящий от конструктивного выполнения соединения подводящего дюкера и приемного колодца, $m = 0,65$;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Наилучшее распределение сточной воды достигается при применении распределительной чаши с двусторонним подводом воды при свободном истечении жидкости. На рис. 7.40. показаны план и разрез распределительной камеры для очистных сооружений производительностью более 20000 м³/сут, а на рис. 7.41 распределительная камера очистных сооружений малой производительности.

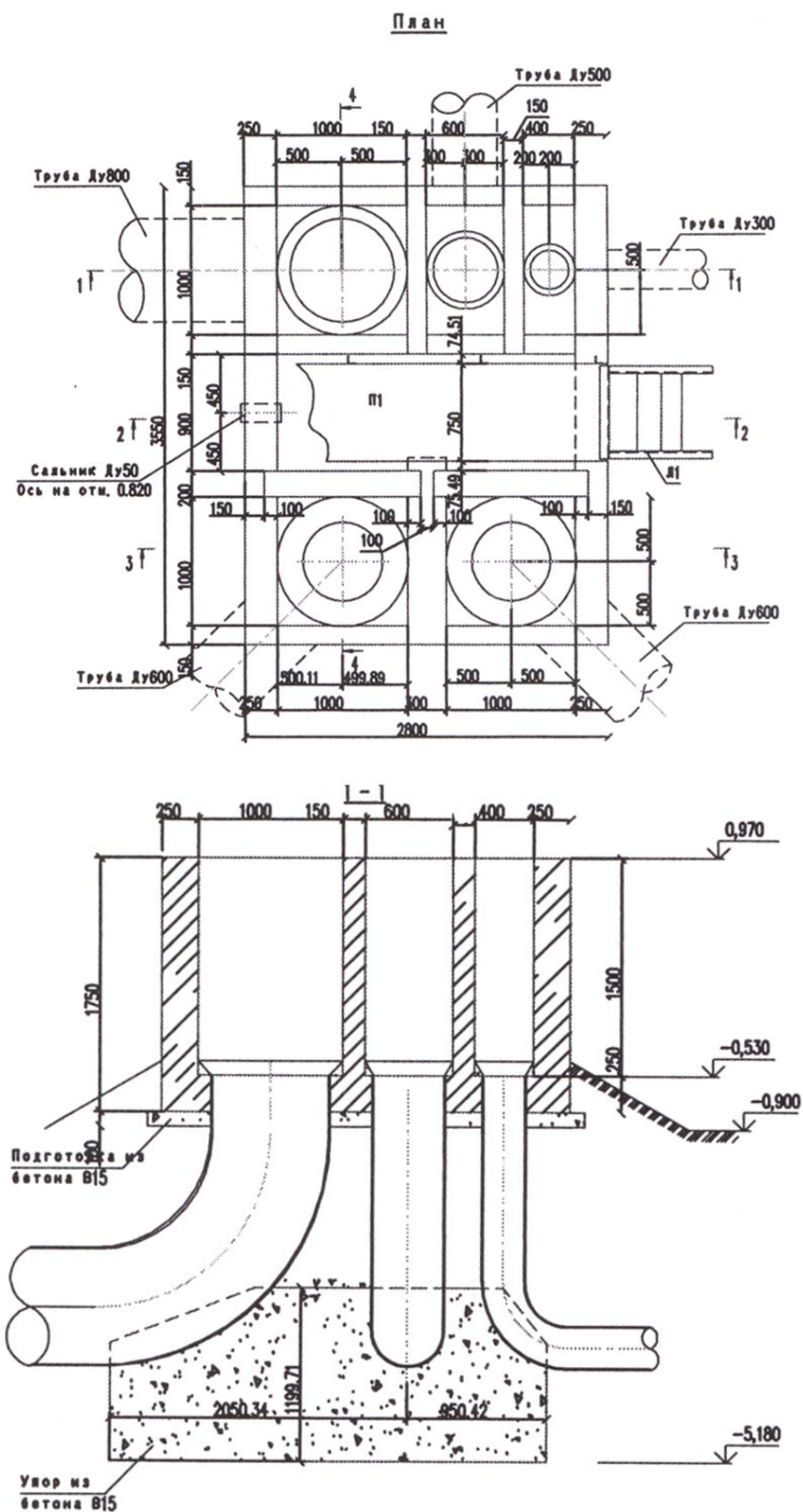


Рис.7.40 Распределительная камера очистных сооружений производительностью более 20000 м³/сут.

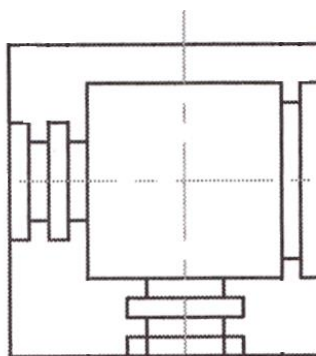


Рис.7.41 Распределительная камера очистных сооружений малой производительности.

Водомерные устройства. Расходы сточных вод, поступающих на очистные сооружения или отдельные группы сооружений, а также расходы стоков, отводимых от этих сооружений, измеряют в напорных трубопроводах (в насосных станциях, дюкерах, подводящих или отводящих напорных участках коллекторов и т. п.).

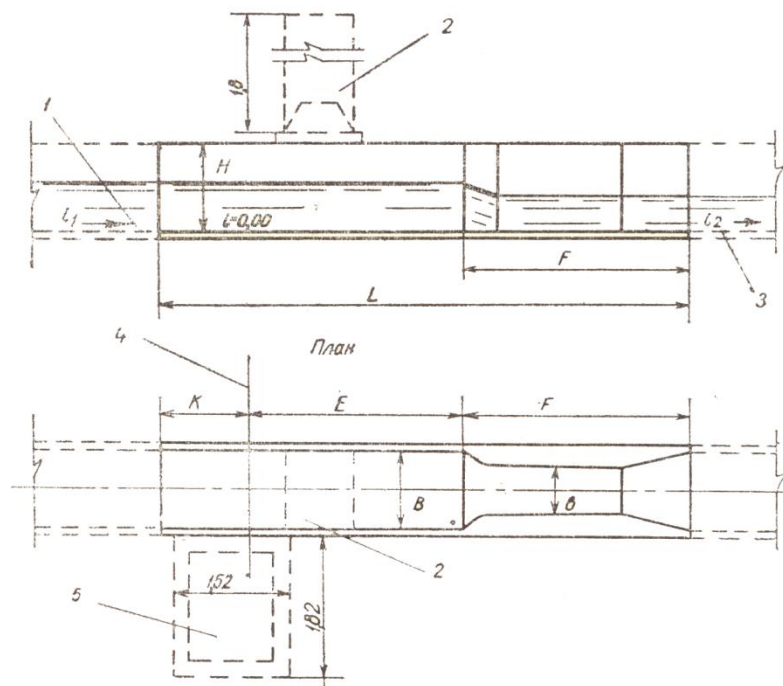


Рис.7.42. Лоток Вентури для измерения расхода сточных вод: 1 – подводящий лоток; 2 – установка дифманометра в шкафу; 3 – отводящий лоток; 4 – контрольное сечение лотка; 5 – установка дифманометра в колодце.

Измерение в напорных трубопроводах более точно и надежно, чем в безнапорных (открытых) каналах, и связано с меньшими потерями напора.

Для успешной эксплуатации очистных сооружений необходимо знать

расход воды, поступающей на отдельные сооружения станции. Для определения количества воды, протекающей по самотечным лоткам и каналам на практике обычно применяют измерение с использованием лотков Вентури, водосливов с порогом треугольного профиля или лотков Паршала.

Наиболее точным и надежным измерительным устройством для контроля расхода сточной воды в прямоугольных каналах шириной 450-2400 мм являются лотки Вентури (рис.7.42).

Лоток Вентури представляет собой устройство, вызывающее сжатие потока и перепад уровней воды, при котором расход жидкости зависит только от уровня в контрольном сечении. В зависимости от способа отбора импульса и установки дифманометра запроектированы два варианта водоизмерительных лотков: I вариант — со шкафом и II вариант — с колодцем.

Для определения расхода замеряется высота слоя воды в контрольном сечении.

Лотки Вентури можно выполнять из железобетона или металла. Для измерения расхода агрессивных по отношению к металлу или железобетону сточных вод поверхности лотков, соприкасающиеся со сточными водами, должны быть футерованы коррозионностойким материалом или покрыты антикоррозионными материалами, например путем напыления.

Основное уравнение расхода, м³/ч, измеряемого при помощи лотков Вентури, имеет вид

$$Q = 0,1941 \cdot C_e C_v b H^{3/2}$$

где

b – ширина горловины лотка, м;

H – напор в контрольном створе, м;

C_e – коэффициент расхода (0,927 – 0,988);

C_v – коэффициент, учитывающий влияние скорости в подводящем канале (1,002 – 1,147).

Для измерения расхода воды в открытых каналах на канализационных станциях применяют также лотки Паршала, работающие по принципу сжатия потока (рис. 7.43). В таких лотках потери напора меньше, чем, например, в измерительных водосливах. Кроме того, они не создают препятствий для прохождения твердых частиц, которые могут быть в сточной воде. Конструкция лотка стандартная.

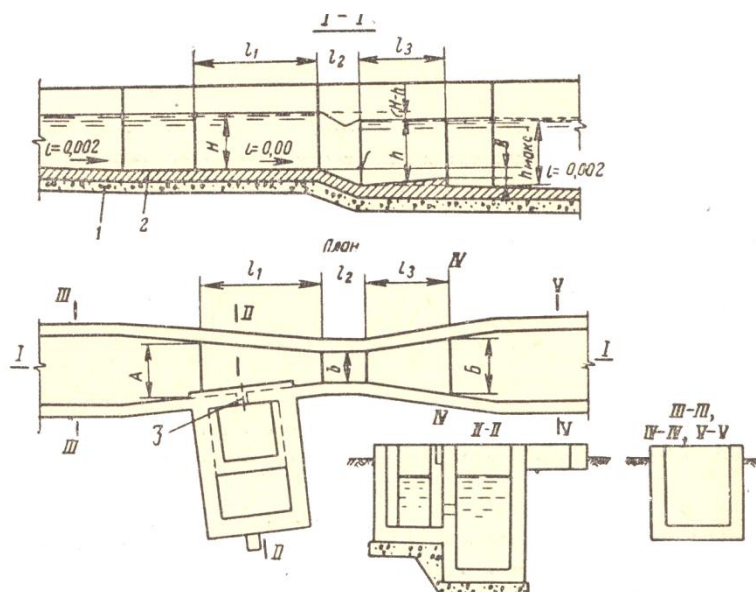


Рис. 7.43. Лоток Паршала для измерения расхода воды: 1 – подготовка из бетона; 2 – железобетонное днище; газовая труба.

Водомерный лоток этого типа состоит из следующих основных частей: подводящего раструба, горловины и отводящего раструба. Лоток устанавливают на канале прямоугольного сечения шириной не менее 40 см.

Расход воды, проходящей через лоток, определяют из гидравлических зависимостей между расходом Q и изменением уровня, вызываемым сужением потока, а также изменением скорости в лотке.

В средней части (горловине) боковые стенки лотка строго вертикальны и параллельны, а дну придан уклон 0,375 в сторону движения воды. К горловине с обеих сторон примыкают подводящий и отводящий раструбы с расходящимися к концам лотка стенками. Дно подводящего раструба выполняют горизонтальным, а дно отводящего раструба—с обратным уклоном (к горловине), равным 0,166.

Для определения расхода воды в таких незатопленных лотках необходимо измерить только глубину воды H перед лотком, до начала кривой спада, в сечении $II—II$. Эта глубина может быть измерена при помощи дифманометра с дистанционной передачей измерений, что позволяет определить расход воды в любой момент времени, а также суммарный суточный расход. Водомерные лотки переменного сечения изготавливаются из монолитного железобетона.

Лотки Паршаля могут применяться для измерения как малых, так и больших расходов воды, обеспечивая при этом высокую точность измерения.

Для правильной работы водомерных лотков указанного типа участок канала на расстоянии 15 м выше места установки водомерного лотка должен быть прямолинейным в плане, русло участка канала должно быть прямоугольным с одинаковым уклоном по длине, а ось лотка должна совпадать с продольной осью прямолинейного участка канала.

Соединение горловины с выходной частью подвергается размыву, вследствие чего бетонные конструкции разрушаются. Применение сборных металлических горловин предотвращает разрушение лотков, что необходимо учитывать при их конструировании.

К водомерным устройствам для сточных вод предъявляются специальные требования. Водомерное устройство не должно задерживать наносов, быть надежным при малом перепаде, т. е. при небольшой потере напора в водомере.

Тема 8. Доочистка сточных вод

Теоретические основы методов доочистки сточных вод

Существующие очистные сооружения в основном не обеспечивают нормативные требования к сбросу очищенных сточных вод, поэтому требуется их доочистка. Чаще всего полная биологическая очистка дополняется сооружениями фильтрации очищенных сточных вод, глубокой

биологической очисткой от биогенных элементов в биологических окислителях и биопрудах, физико-химическими методами доочистки или комбинацией этих методов. В особых случаях необходимая степень глубокой очистки достигается только при использовании сорбции на активированном угле.

Все эти мероприятия направлены на получение минимальных допустимых концентраций органических соединений, азота, фосфора и других специфических компонентов (например, нефтепродуктов, СПАВ, эфирорастворимых веществ, тяжёлых металлов и других компонентов).

Глубокая очистка сточных вод необходима перед использованием их в системах повторного и оборотного водоснабжения промышленных предприятий, в сельском хозяйстве. В зависимости от требуемой степени глубокой очистки вложения на строительство сооружений глубокой очистки увеличивают общие затраты на 30-100% и требуют привлечения дополнительных материалов: реагентов, ионообменных смол, активированного угля.

Глубина доочистки сточных вод, используемых в замкнутых системах водоснабжения предприятий, зависит от технологических требований к её качественным показателям и в некоторых случаях эти требования могут быть менее жесткие, чем к качеству очищенной воды перед сбросом в водоемы.

Сооружения доочистки сточных вод от взвешенных веществ и органических загрязнений

Наиболее распространенными методами глубокой очистки биологически очищенных сточных вод являются процеживание и фильтрование.

Процеживание сточных вод. Для глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ широкое распространение получил метод процеживания сточных вод на микрофильтрах (рис. 8.1).

Принцип работы микрофильтров заключается в следующем. Сточная

вода из подводящего канала по впускной трубе поступает внутрь барабана микрофилтра, фильтруется через сетчатые стенки и поступает в резервуар, в котором расположен барабан филтра.

Затем из резервуара через водослив изливается в отводящий канал филтрата. Хлопья активного ила, водоросли и другие плавающие загрязнения задерживаются на сетке с размерами отверстий 35 мкм. При вращении барабана сетка с прилипшими к ней загрязнениями поступает в зону действия промывных труб, промывается и вновь погружается в воду.

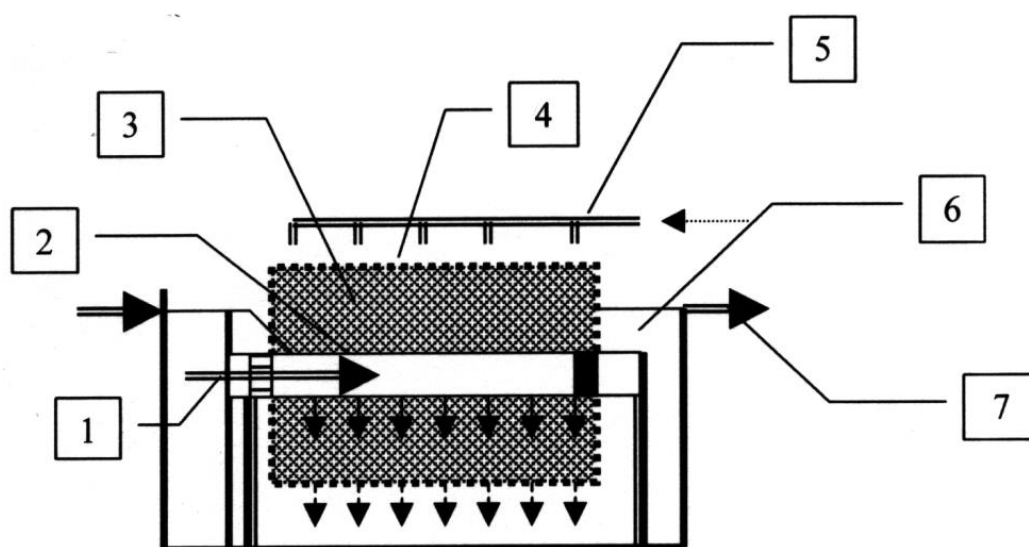


Рис. 8.1. Схема устройства микрофилтров: 1- сточная вода на доочистку; 2 – впускная труба; 3 – барабан микрофилтра; 4 - сетчатые стенки; 5 – промывные трубы; 6 – промывная вода; 7 – очищенная сточная вода

Фильтрация сточных вод. При фильтровании биологически очищенной сточной жидкости происходит снижение содержания взвешенных веществ путем изъятия частиц активного ила и накопления их в фильтрующей загрузке. Этот процесс близок к тем процессам, которые характерны для фильтров систем водоснабжения.

Теоретические закономерности процесса фильтрования малоконцентрированных суспензий рассматривались многими авторами. Наибольшее признание и применение получила теория, разработанная проф. Д.М. Минцем, рассматривающая очистку воды при фильтровании как

результат двух одновременно протекающих процессов: адсорбции частиц взвеси к поверхности зерен фильтрующего материала и ранее адсорбированным загрязнениям, и их отрыва под действием гидродинамического давления потока жидкости.

В результате действия этих двух факторов происходит продвижение фронта загрязнений в глубь фильтрующего слоя. Накопление загрязнений в толще фильтра приводит к уменьшению размера пор, увеличению истинной скорости фильтрации и росту гидравлического сопротивления фильтрующей среды. Вместе с тем увеличение истинной скорости фильтрации приводит к повышению сил гидродинамического давления потока воды на скопления загрязнений, их отрыву и переносу в последующие по ходу движения воды слои загрузки. По мере заиливания фильтрующего слоя наступает момент, когда вследствие разрушения осадка в толще загрузки и выноса вторичных частиц происходит ухудшение качества фильтрата.

Располагаемый напор на применяемых в практике самотечных фильтрах характеризуется сравнительно небольшими величинами (порядка 3 м), определяемыми высотной схемой расположения фильтровальных сооружений. Поэтому наряду со временем защитного действия загрузки t_z необходимо учитывать также время работы фильтра до достижения предельной потери напора t_n . Оптимальными считаются условия, при которых $t_z \cong t_n$. То есть основным уравнением теории фильтрации является равновесие сил, действующих при движении воды через зернистую загрузку фильтров:

$$im\rho g = w\tau \quad (8.1)$$

где i – гидравлический уклон;

m – межзерновая пористость загрузки, %;

ρ – плотность воды, г/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/сек²;

w – удельная поверхность зерен фильтрующего материала, м²/м³;

τ - касательные напряжения на поверхности зерен, кПа/м².

В зависимости от способа подачи сточной воды на фильтрацию различают: илтры с нисходящим потоком жидкости; фильтры с восходящим потоком жидкости.

На рис. 8.2 приведены схемы фильтрации очищенных сточных вод.

При ухудшении качества фильтрата или достижении предельной потери напора фильтр следует промыть, промывка подразделяется на текущую и профилактическую. В зависимости от применяемого сорбционного материала в фильтрах промывка может быть водной или водовоздушной и зависит от концентрации взвешенных веществ в промывной воде и грязеёмкости загрузки.

Методы доочистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ

Выбор типа сооружения глубокой очистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ осуществляется с учетом качества исходных сточных вод, требований к степени их очистки, наличия фильтрующих материалов.

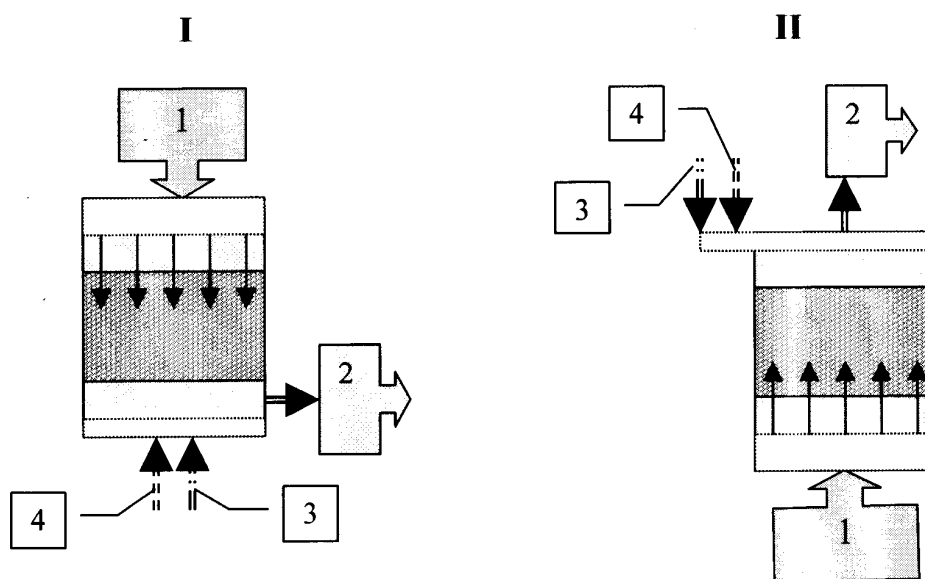


Рис. 8.2. Схемы фильтрации сточных вод: I - фильтры с неподвижной загрузкой и нисходящим потоком воды; II - фильтры с неподвижной загрузкой и восходящим потоком воды; 1 - подача сточной воды; 2 - выпуск очищенной воды; 3 - вода на промывку; 4 - воздух на промывку

В связи с повышением требований к качеству очищенных сточных вод полная биологическая очистка дополняется фильтрами, прудами или физико-химическими методами доочистки. В особых случаях необходимая степень доочистки достигается только при использовании сорбции на активированном угле. Однако этот метод требует термической регенерации угля, что связано с большими капитальными и эксплуатационными расходами.

Широкое распространение для глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ получили методы процеживания на микрофильтрах и барабанных сетках, при использовании этих аппаратов в очищенной сточной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку (смолы, жиры, масла, нефтепродукты и пр.). Концентрация взвешенных веществ в исходной воде не должна превышать 40 мг/л. Число резервных сетчатых барабанных фильтров надлежит принимать по СП.

При применении сетчатых барабанных фильтров в схеме глубокой очистки сточных вод следует предусматривать периодическую промывку водой, прошедшей сетчатые барабанные фильтры при давлении 0,15 МПа (1,5 кгс/см²). При этом число промывок принимается 8-12 раз в сутки с продолжительностью промывки 5 мин и расходом промывной воды 0,3-0,5 % расчетной производительности барабанной сетки (рис. 8.3).

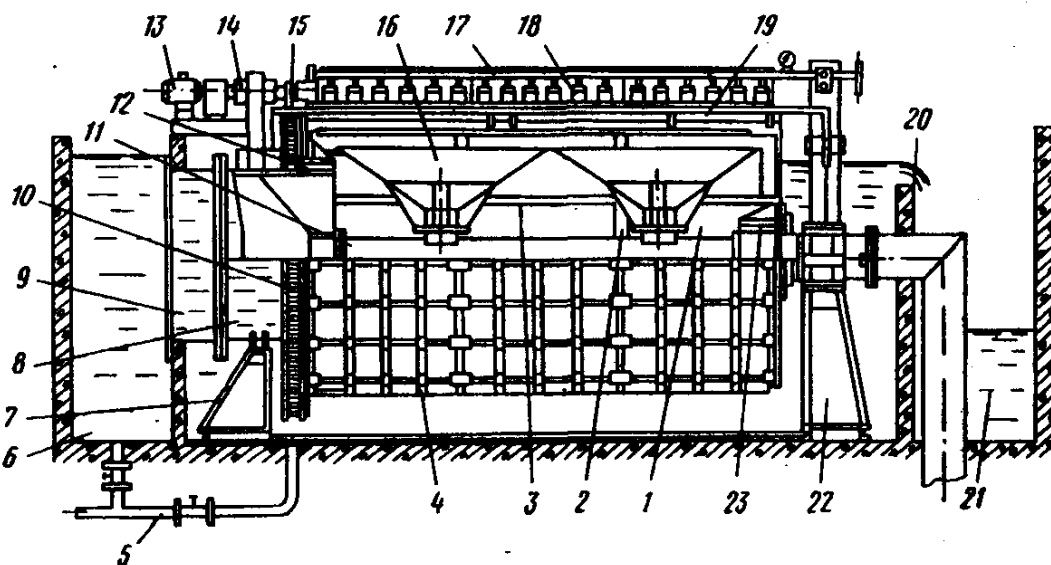


Рис. 8.3. Схема сетчатого барабанного фильтра: 1 - барабан; 2 - поперечные связи барабана; 3 - продольные связи; 4 - ребра жесткости; 5 - трубы опорожнения; 6 - входной канал; 7 - передняя рама; 8 - входная труба; 9 - закладной патрубок; 10 - цепочное колесо; 11 - сточная труба; 12 - передний подшипник; 13 - электродвигатель; 14 - редуктор; 15 - шестерня; 16 - бункер; 17 - трубопровод промывной воды; 18 - разбрызгиватель; 19 - бактерицидные лампы; 20 - водослив; 21 - канал фильтрата; 22 - задняя рама; 23 - задний подшипник

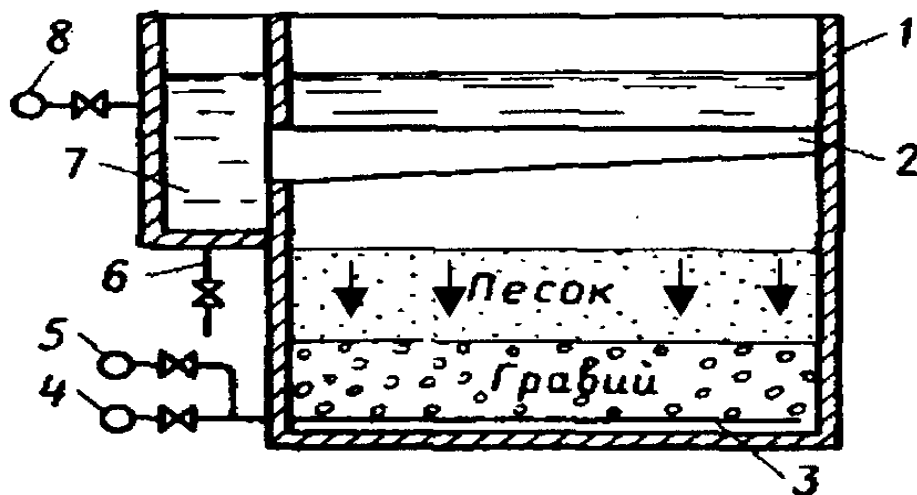


Рис. 8.4. Схема скорого фильтра: 1 - корпус фильтра; 2 - желоба для распределения фильтруемой воды и для отвода промывной; 3 - дренажная система; 4 - отвод фильтрованной воды; 5 - подача промывной воды; 6 - отвод грязной промывной воды; 7 - распределительный карман; 8 - подача осветляемой воды

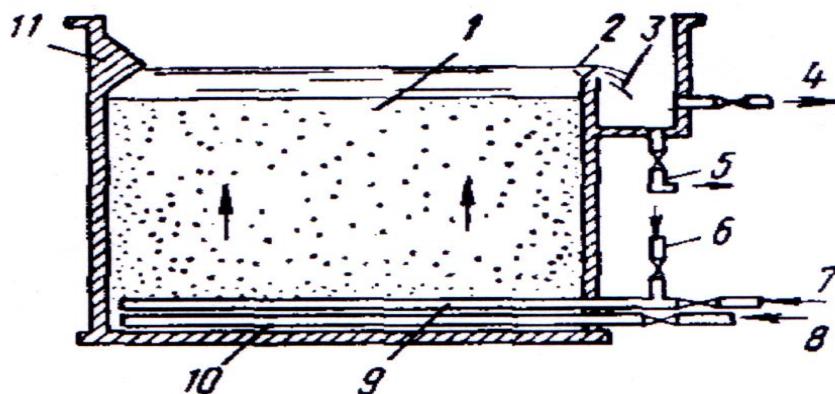


Рис. 7.5. Схема фильтра с восходящим потоком воды и водовоздушной промывкой: 1 - загрузка; 2 - пескоулавливающий желоб; 3 - карман; 4 - отвод фильтрованной воды; 5 - отвод промывной воды; 6 - подача воды на промывку; 7 - подача очищаемой воды; 8 - подача воздуха; 9 и 10 -

распределительные системы для подачи соответственно воды и воздуха; 11 - струенаправляющий выступ

Сетчатые барабанные фильтры также применяются в качестве самостоятельных сооружений глубокой очистки (микрофильтры). Степень очистки сточных вод, достигаемая на сетчатых барабанных фильтрах соответствует данным СП.

Число фильтров на очистных сооружениях следует определять по формуле Д.М. Минца.

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}} \quad (8.2)$$

где F_{ϕ} – площадь поверхности фильтров, м².

Площадь фильтрующей поверхности микрофильтров следует определять по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{k_1 \cdot Q \cdot k}{k_2 \cdot T \cdot v_{\phi}} \quad (8.3)$$

где k_1 - коэффициент, учитывающий увеличение производительности микрофильтров за счёт очистки промывной воды и равный 1,03 - 1,05; k_2 - коэффициент, учитывающий площадь фильтрующей поверхности, расположенной над водой (при погружении барабана на 0,6 м диаметра $k_2 = 0,55$, а при погружении на 0,7 м $k_2 = 0,7$ диаметра).

Для доочистки сточных вод применяются фильтры с зернистой загрузкой следующих конструкций: однослойные (рис. 8.5. и 8.4.) с восходящим или нисходящим потоком жидкости, фильтры конструкции С.И. Быкова (рис. 8.6); аэрируемые двухслойные (рис. 8.7) и каркасно-засыпные (КЗФ) (рис. 7.8). В зависимости от конструкции и климатических условий фильтры следует располагать на открытом воздухе или в помещении.

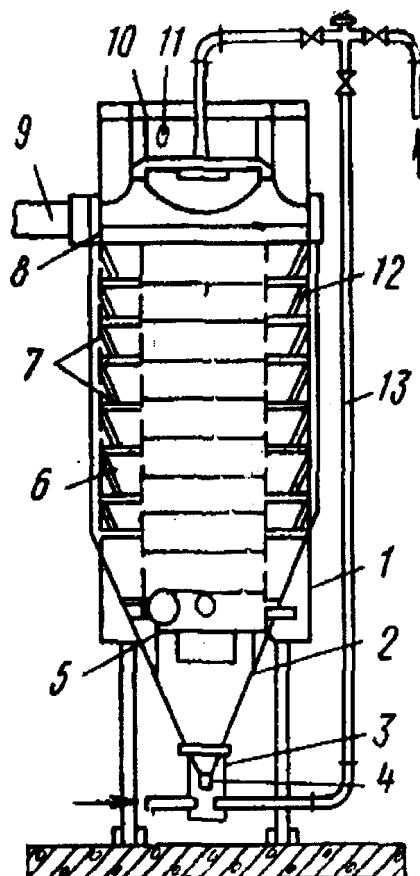


Рис. 8.6. Фильтр конструкции С. И. Быкова: 1 - цилиндрическая часть; 2 - конусная часть; 3 - клапанная коробка; 4 - гидроэлеватор; 5 - отвод профильтрованной воды; 6 - песок; 7 - дренажные плитки; 8 - кольцевая труба; 9 - подача исходной воды; 10 - гидравлический сепаратор; 11 - отвод промывной воды; 12 - дренаж; 13 - труба для подачи песка в сепаратор

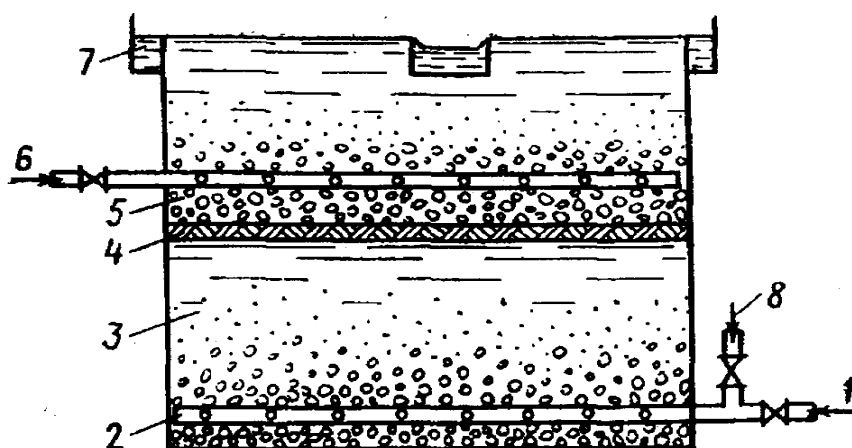


Рис. 8.7. Аэрируемый песчаный фильтр: 1 - подача очищаемой воды; 2 - распределительная система; 3 - загрузка первого яруса; 4 - дырчатая перегородка; 5 - загрузка второго яруса; 6 - подача воздуха; 7 - отвод фильтрата и промывной воды; 8 - подача промывной воды;

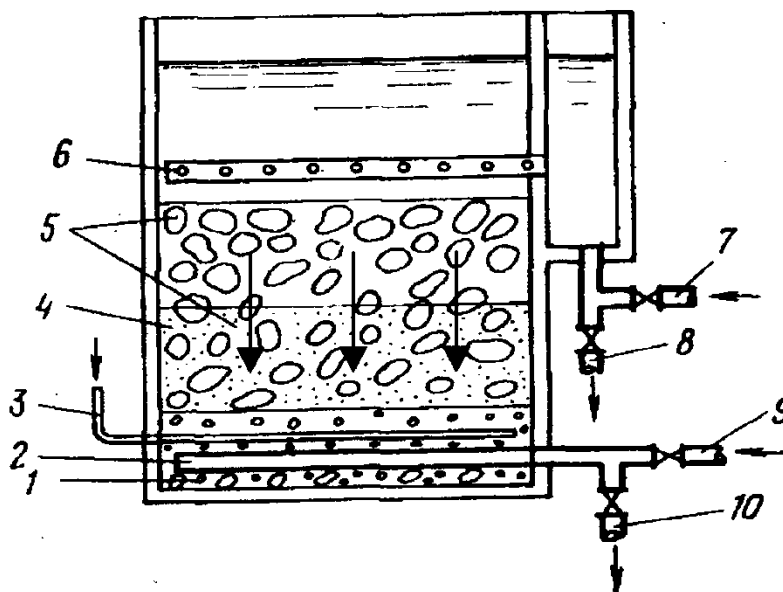


Рис. 8.8. Каркасно-засыпной фильтр: 1 - поддерживающие гравийные слои; 2 - распределительная система для воды; 3 - подача воздуха при промывке; 4 - песчаная засыпка; 5 - гравийный каркас; 6 - тручатая система для подачи исходной и отведения промывной воды; 7 - подача исходной воды; 8 - отвод промывной воды; 9 - подача промывной воды; 10 - отвод фильтрата

При расположении фильтров на открытом воздухе трубопроводы, запорная арматура, насосы и прочие коммуникации должны располагаться в проходных галереях. В качестве фильтрующего материала допускается использовать кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, гранулированный доменный шлак, антрацит, керамзит, полимеры, а также другие зернистые загрузки, обладающие необходимыми свойствами, химической стойкостью и механической прочностью.

Расчетные параметры фильтров с зернистой загрузкой для глубокой очистки городских и близких к ним по составу производственных сточных вод после биологической очистки следует принимать по табл. 52 СНиП 2.03.04-85. Расчет площади фильтров надлежит производить по максимальному часовому притоку за вычетом допустимой неравномерности, равной 15%.

Площадь фильтров вычисляется по формуле:

$$F_{\Phi} = \frac{Q \cdot k \cdot (1 + m)}{T \cdot v_{\Phi} - 3,6 \cdot n \cdot (W_1 \cdot t_1 + W_2 \cdot t_2 + W_3 \cdot t_3) - n \cdot v_{\Phi} \cdot t_4}; \quad (8.4)$$

где Q - производительность очистной станции, м³/сут;

k - коэффициент неравномерности;

T - продолжительность работы станции в течение суток, ч;

v_{Φ} - скорость фильтрования, м/ч;

n - количество промывок каждого фильтра в сутки;

W_1 - интенсивность первоначального взрыхления верхнего слоя загрузки, л/(с·м²) продолжительностью t_1 , ч;

W_2 - интенсивность подачи воды, л/(с·м²), с продолжительностью водовоздушной промывки t_2 , ч (только при водовоздушной промывке);

W_3 - интенсивность промывки, л/(с·м²), продолжительностью t_3 , ч;

t_4 - продолжительность простоя фильтра из-за промывки, ч;

m - коэффициент, учитывающий расход воды на промывку барабанных сеток.

Промывка фильтров разделяется на текущую и профилактическую. Текущая промывка производится при предварительном сбросе воды по поверхности загрузки, после чего осуществляется подача воздуха с интенсивностью 20 л/(с·м²) и продолжительностью 5 - 10 мин, а затем последующая промывка водой с интенсивностью подачи 16 л/(с·м²) и продолжительностью 6 - 8 мин.

Удаление промывной воды осуществляется через желоба, подвешенные над поверхностью загрузки.

Профилактическая промывка производится один-два раза в неделю сразу после текущей. Для этого фильтр полностью опорожняется и загрузка барботируется при одновременной подаче воздуха с интенсивностью 20 л/(с·м²) и воды с интенсивностью 1,5 - 2 л/(с·м²). При появлении воды на поверхности загрузки подача воздуха прекращается, и фильтр промывается одной водой с интенсивностью 12 - 16 л/(с·м²) в течение 2 мин.

При проектировании фильтров с зернистой загрузкой рекомендуется:

- при подаче сточных вод после биологической очистки устанавливать перед фильтрами (исключая КЗФ) барабанные сетки;
- применять водовоздушную промывку для однослойных, водяную - для двухслойных, водовоздушную или водяную - для каркасно-засыпных; при этом промывку следует осуществлять не хлорированной фильтрованной водой;
- вместимость резервуаров промывной воды и грязных вод от промывки фильтров принимать не менее чем на две промывки;
- при необходимости осуществлять насыщение фильтрованной воды кислородом;
- принимать трубчатые распределительные дренажные системы большого сопротивления;
- для фильтров с подачей воды сверху вниз предусматривать устройство гидравлического или механического взрыхления верхнего слоя загрузки.

В качестве зернистого фильтрующего материала применяют кварцевый и керамзитовый песок, гранитный щебень, гранодиорит, шунгизит, гравий, горелые породы, металлургические шлаки, окатанный речной песок и др.

Сооружения доочистки на 10000, 17000, 21000 м³/сут сточных вод состоят из помещения фильтров и непроизводственно-вспомогательных помещений. Размеры в плане подземной части зданий 24×24, 36×22,5 и 24×36 м и надземной 12×9, 12×18 и 12×18 м. Набор технологических емкостей и подсобно-производственных помещений, их конструктивные и объемно-планировочные решения аналогичны сооружениям пропускной способностью 2700 - 7000 м³/сут. Различны лишь размеры в плане и число фильтров, а также размеры других технологических емкостей.

Фильтры с загрузкой из гранитного щебня фракцией 2 - 5 мм высотой слоя 0,9 - 1,2 м и с дренажом рекомендуются для доочистки сточных вод от взвешенных веществ при скорости фильтрования 8 м/ч и направлении

движения жидкости сверху вниз. При продолжительности фильтроцикла 12 ч эффективность доочистки достигает 70% (содержание взвешенных веществ в выходящей воде составляет 4 - 6 мг/л).

В последние годы в системах доочистки сточных вод стали широко применяться новые методы, которые сочетают в себе достоинства фильтров и предусматривают возможность биологической деструкции остаточных органических загрязнений после полной биологической очистки сточных при помощи прикреплённой биомассы. В качестве загрузочного материала, на котором происходят процессы глубокого изъятия загрязнений, используются полимерные элементы типа «Контур», «Водоросль» и некоторые другие материалы. В практике очистки сточных вод эти сооружения получили наименование биореакторов доочистки. На рис. 8.9 приведена одна из конструкций биореактора.

Принцип работы биореакторов заключается в следующем. В резервуар с загрузочным материалом подаётся биологически очищенная сточная вода, под загрузочным материалом установлена система аэрации, которая обеспечивает в резервуаре необходимую циркуляцию сточной воды через контейнеры с загрузкой. Этот поток вовлекает поступающую сточную жидкость в циркуляцию, снабжает биомассу гидробионтов, прикрепляющуюся на загрузке, кислородом, активным илом из вторичных отстойников и растворенными в воде органическими веществами.

При заиливании загрузочного материала их отмывают подачей воздуха через аэрационную систему. Водовоздушный поток внутри контейнеров срывает иловые отложения с загрузки, в это время осуществляют опорожнение биореактора и ил выводится из сооружения. На период промывки биореактора подача очищаемой сточной жидкости на доочистку прекращается.

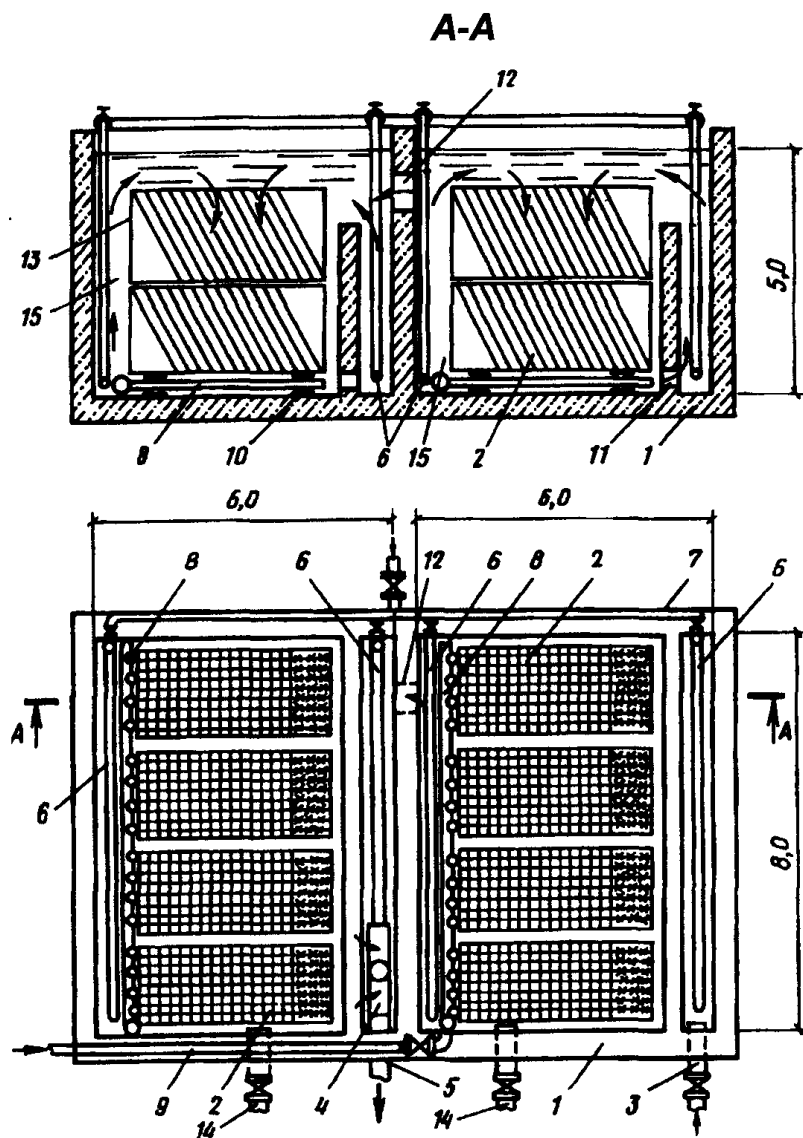


Рис. 8.9. Биореактор глубокой доочистки: 1 - резервуар; 2 - загрузка из стеклоершей; 3 - трубопровод подачи сточных вод; 4 - сборный желоб; 5 - трубопровод отвода воды; 6 - аэрационная система; 7 - воздухопровод; 8 - аэрационная система; 9 - воздухопровод; 10 - опоры; 11 - окна; 12 - перепускное окно; 13 - стенка контейнера; 14 - трубопровод опорожнения; 15 - эрлифтная ниша

Скорость фильтрации в биореакторах принимается в диапазоне от 5 до 7 м /ч при пропуске максимального часового расхода, при времени обработке сточных вод в 0,5 - 1 ч. Путём простой обработки биологически очищенных сточных вод достигается снижение содержания взвешенных веществ и органических загрязнений (по БПК) с 15 - 50 до 1 - 5 мг/л.

В зависимости от степени глубокой очистки биореакторы доочистки могут быть установлены в одну или несколько ступеней. Для повышения

эффективности на поверхность загрузочного материала с потоком сточной воды однократно подаётся порошкообразные активированные угли (ПАУ). После промывки фильтров в сточную воду подают некоторое количество ПАУ.

Биоценоз биореактора образуется спонтанно и состоит из довольно большого количества видов различных микроорганизмов, в результате чего на загрузке скапливается вполне устойчивая экосистема.

Переоборудование станции на технологию с биореакторами доочистки с одновременным повышением эффекта очистки сточных вод без строительства отдельных сооружений доочистки позволяет сэкономить значительные средства в зависимости от пропускной способности станции.

Физико-химические методы доочистки сточных вод

Область применения методов физико-химической очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые законами физической химии, называются *физико-химическими*.

Обязательным условием применения физико-химических процессов очистки сточных вод является источник внешней энергии. Для их осуществления используют разнообразные виды энергии: электрическую, химическую, тепловую, механическую и др. Это увеличивает затраты на очистку воды.

В практике очистки сточных вод часто встречаются ситуации, когда биологические очистные сооружения не могут обеспечить эффективную работу, например, вследствие длительных перерывов в поступлении сточных вод, нестабильности энергоснабжения, присутствие в сточных водах соединений токсичных для биоценозов и ряд других. Особенность сооружений физико-химической очистки сточных вод – быстрота ввода в режим эксплуатации, что важно при решении задач жизнеобеспечения в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций.

В схемах станций очистки сточных вод населенных мест на разных

этапах обработки воды могут применяться такие методы, как флотация, коагулирование и сорбция. Целесообразность включения их в состав очистных сооружений должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Флотация в технологии очистки сточных вод – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой (флотокомплексов) и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама).

В соответствии с классификацией загрязнений городских сточных вод, непосредственно флотация позволяет осуществлять извлечение грубодисперсных примесей, характеризуемых показателем "взвешенные вещества", плавающих веществ (нефтепродукты, жироподобные вещества) и ПАВ.

В технологических процессах очистных сооружений населенных мест наибольшее применение имеет флотация с компрессионным получением диспергированной газовой фазы. Газовая фаза, получаемая этим способом, обладает большой удельной поверхностью и адгезионной активностью. Флотокомплексы, сформировавшиеся на ее основе, обладают высокой скоростью всплывания, достигающей 20 мм/с. Это существенно уменьшает период отделения загрязнений по сравнению с отстаиванием.

Функционально флотационные сооружения могут осуществлять задачи предварительного осветления поступающих сточных вод, задачи доочистки сточных вод по взвешенным веществам и ПАВ, а также функции илоотделения на разных стадиях обработки осадков.

Флотационное сооружение состоит из камеры флотации и вспомогательного оборудования (рис.8.20). По форме камеры флотации бывают прямоугольные или круглые в плане глубиной не более 3 м. Внутри камеры размещены устройства распределения поступающей на очистку воды

и водо-воздушной смеси, направляющие перегородки, устройства для поддержания постоянства положения уровня воды в сооружении, сбора и удаления осадков и флотошлама. В состав вспомогательного оборудования входит установка для насыщения воды воздухом при избыточном давлении 0,3...0,6 МПа.

Часть потока очищенной воды под давлением подаются в напорный бак (сатуратор). Туда же компрессором подают воздух. Возможна также подача воздуха через водо-воздушный эжектор, установленный на байпасной линии насоса. Количество подаваемого воздуха зависит от начальной концентрации загрязняющих веществ и может изменяться от 40 до 15 дм^3 на 1 кг извлекаемых веществ при их начальной концентрации соответственно от 0,2 до 4 г/л. Насыщенная воздухом вода из сатуратора поступает во флотационную камеру, где происходит резкое снижение давления. Выделяющиеся пузырьки воздуха образуют с загрязнениями флотокомплексы, которые всплывают на открытую поверхность флотатора. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами для сгребания пены в пеносборник. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами для сгребания пены в пеносборник.

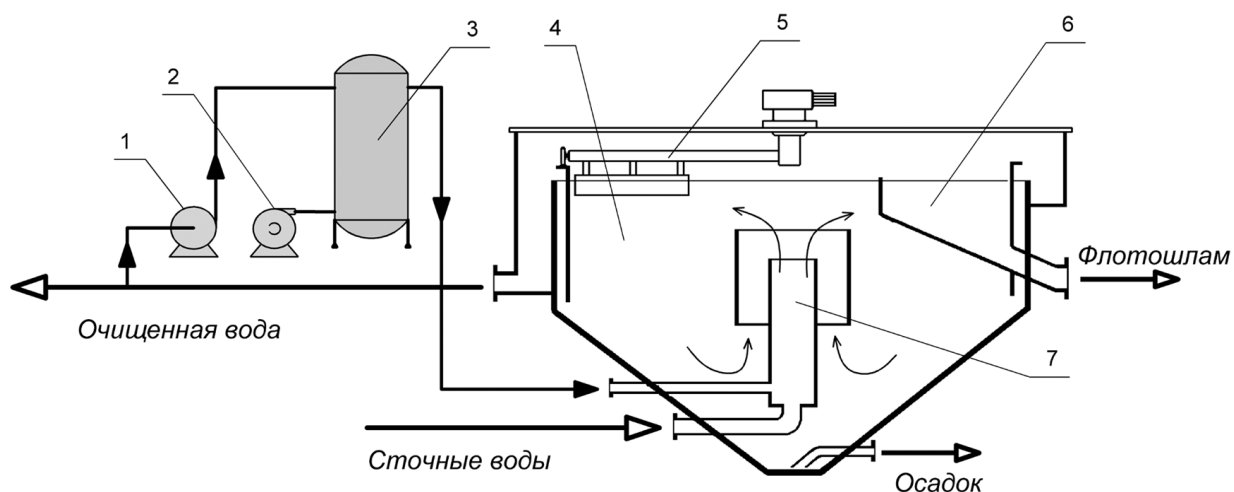


Рис. 8.20. Схема флотационного сооружения: 1 – циркуляционный насос; 2 – компрессор; 3 – напорный бак; 4 – камера флотации; 5 – скребковый механизм; 6 – сборник флотошлама; 7 – система распределения воды и водо-воздушной смеси.

Применение флотации после сооружений полной биологической очистки городских сточных вод позволяет существенно улучшить многие

показатели качества воды. В табл. 8.2 приведены данные по флотации биологически очищенных сточных вод.

Таблица 8.2

Результаты флотационной обработки городских сточных вод после сооружений полной биологической очистки

Показатель	Сточные воды		Средний эффект очистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л.	8...25	4...12	50
БПК ₅ , мгО ₂ /л	10...25	4,5...11	55
ХПК, мгО ₂ /л	40...110	24...39	45
ПАВ, мг/л	1,5...6,5	0,5...4,2	67

Кроме этого было отмечено удаление соединений азота на 15...20%, ионов железа на 23...26%, ионов хрома на 11...18%, эфироивлекаемых веществ на 25...28%.

Среди других сооружений гравитационного отделения загрязнений флотаторы отличаются большей эффективностью, меньшими размерами, технологической гибкостью и управляемостью. Недостатком является зависимость от электроснабжения и большее ее потребление.

Очистка сточных вод с использованием коагулирования. Сточные воды населенных мест содержат 50...60% загрязнений относящихся по физико-химическим свойствам к коллоидным. Коллоидные дисперсные частицы не осаждаются и не задерживаются обычными фильтрами. Их размер условно находится в интервале 1...100 нм. Они образуют устойчивые системы по внешним признакам сходные с истинными растворами.

Для повышения эффективности очистки сточных вод от коллоидных загрязнений используют реагенты, называемые коагулянтами. Минеральные коагулянты - это гидролизующиеся соли металлов.

В качестве коагулянтов часто используют сульфат алюминия

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; алюминат натрия NaAlO_2 ; гидроксохлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$, реже - тетраоксосульфаты алюминия-калия и алюминия-аммония. Широкое распространение получил сульфат алюминия. При коагулировании сульфат алюминия взаимодействует с гидрокарбонатами, имеющимися в воде, или специально добавляемыми щелочными реагентами, образуя малорастворимые основания. В последнее время успешно применяют гидроксохлорид алюминия, для которого требуется меньший щелочной запас воды.

Железосодержащие коагулянты - это прежде всего сульфаты двух- и трехвалентного железа: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а также хлорное железо FeCl_3 . Поскольку железо обладает переходной валентностью, перечисленные реагенты могут применяться не только для коагулирования, но и для проведения реакций окисления-восстановления с последующей седиментацией.

Для интенсификации процессов отделения скоагулированных загрязнений применяют реагенты, называемые *флокулянтами*. Флокулянты могут быть как неорганическими, так и органическими веществами. В последнее время для очистки сточных вод широко применяются высокомолекулярные соединения (ВМС). Молекула ВМС в воде может быть электронейтральна или нести заряд. В последнем случае вещество будет называться *полиэлектролитом*. Иногда полиэлектролиты полностью выполняют функции коагулянта и флокулянта.

Технологический комплекс для коагулирования сточных вод включает основные сооружения для смешивания обрабатываемой воды с раствором коагулянта, формирования крупных флокул оседающих соединений, осветления воды, а также вспомогательные сооружения и оборудование для хранения, приготовления и дозирования реагентов.

Для эффективного проведения коагуляции необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия для протекания реакций гидролиза коагу-

лянтов, взаимодействия с загрязнениями и формирования прочных хлопьев осадка. Поэтому смешение коагулянта с водой должно происходить так, чтобы сразу образовывалось большое количество мелких агрегатов, которые впоследствии станут центрами кристаллизации малорастворимых соединений.

Коагулянты смешивают с обрабатываемой сточной водой в смесителях. По конструктивным особенностям смесители бывают перегородчатые, дырчатые, шайбовые и вертикальные.

Процесс формирования флокул осуществляют в камерах хлопьеобразования. По виду движения потока камеры хлопьеобразования могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а также с механическим перемешиванием.

Отделение сформировавшейся дисперсной системы гидролизованного коагулянта и загрязнений происходит, как правило, в отстойниках вертикального, горизонтального или радиального типов. Возможно применение для этих целей флотаторов и осветлителей.

Выбор типа сооружений технологического комплекса зависит от его производительности, состава и свойств сточных вод, применяемых реагентов, условий проектирования, строительства и эксплуатации очистной станции.

В технологии коагулирования городских сточных вод используют разные схемы, обеспечивающие наилучшие результаты очистки в конкретных условиях. Главные отличия этих схем заключаются в выборе точек ввода реагентов в технологической цепочке сооружений и режимах их подачи. Для очистки городских сточных вод наиболее целесообразной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод. На I ступени осуществляется отстаивание в первичном отстойнике без коагулянта, на II ступени - обработка сточных вод коагулянтами и флокулянтами с последующим осветлением в отстойнике или флотаторе. На рис. 8.21 дан

пример технологического комплекса коагулирования сточных вод, выполненного в виде моноблока сооружений.

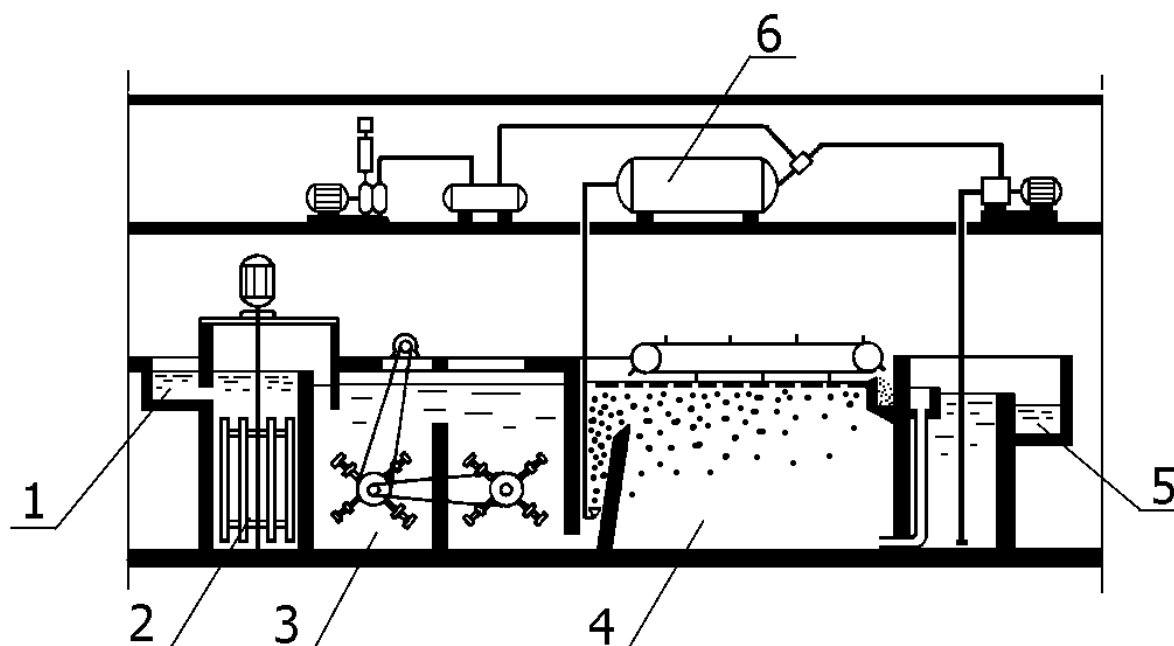


Рис. 8.21. Комбинированное сооружение физико-химической очистки сточных вод: 1 – подводный канал сточных вод; 2 – механический смеситель; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – флотатор; 5 – отводящий канал очищенной воды; 6 – система приготовления водо-воздушной смеси.

Истинно растворенные и коллоидные органические загрязнения городских сточных вод характеризуются многообразием компонентов. Изучение состава растворенных органических загрязнений показало, что 62...66% соединений относятся к группе органических кислот, 8,2...9,6% проявляют свойства оснований, а 28,4...34,0% – нейтральны. С учетом адсорбции загрязнений на гидроксидах коагулированием удаляется 30...40% общей массы органических веществ, находящихся в растворе. Наибольшая эффективность очистки воды достигается по органическим основаниям (до 70%), наименьшая – по органическим кислотам (до 20%).

Соединения фосфора, находящиеся в растворенном состоянии, в процессе коагулирования образуют малорастворимые фосфаты алюминия, железа или кальция и выпадают в осадок. Сложные и нерастворимые формы фосфора удаляются путем сорбции на хлопьях гидроксидов.

Удаление тяжелых металлов происходит в результате сорбции и соосаждения их гидроксидов, полнота которого зависит от pH сточной воды и свойств самих металлов.

Таким образом, в процессе коагулирования и последующего отделения осадков из сточных вод могут быть достаточно полно удалены не только взвешенные вещества, но и органические коллоидные загрязнения, некоторые растворенные загрязнения, в том числе обладающие поверхностно-активными свойствами, соединения фосфора, соли тяжелых металлов и т.д.

Применение флотации для отделения скоагулированных загрязнений наряду с увеличением скорости извлечения загрязнений, повышает эффективность очистки воды по взвешенным веществам, ПАВ, ХПК. В таблице 8.3 приведены результаты коагулирования городских сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, с последующей флотацией. В качестве коагулянта использовано хлорное железо в количестве 0,5...1,0 мг-экв/л. Продолжительность обработки воды в компрессионном флотаторе – 20 мин.

Таблица 8.3.

Результаты доочистки сточных вод коагулированием с последующей флотацией

Показатель	Сточные воды		Средний эффект очистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л.	18-40	6-10	71
БПК ₅ , мгО ₂ /л	20-35	4,5-11	73
ХПК, мгО ₂ /л	90-170	35-70	60
ПАВ, мг/л	4-20	1,3-6	70

Коагулирование с последующим отстаиванием практически неэффективно в отношении удаления аммонийного азота. К другим недостаткам метода относятся необходимость применения реагентов и

увеличение объемов отделяемых осадков.

Адсорбционная очистка сточных вод. Сорбция - это равновесный динамический процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым веществом, жидкостью или газом. Поглощающее вещество называется *сорбентом*, а поглощаемое - *сорбатом*. Сорбция веществ поверхностным слоем твердого сорбента называется *адсорбцией*.

Сорбционные методы относятся к наиболее эффективным для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно или совместно с другими методами предварительной и глубокой очистки сточных вод.

В качестве сорбентов на городских очистных сооружениях применяют природные материалы, отходы некоторых производств и активные угли. Природные пористые материалы такие как торф, активные глины и производственные отходы - зола, коксовая мелочь, силикагели, алюмогели и другие обладают малой *сорбционной емкостью* и высоким сопротивлением фильтрации. Сорбционная емкость – это масса поглощенных загрязнений, приходящаяся на единицу объема или массы сорбента ($\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{кг}$).

Сорбенты, используемые для очистки сточных вод, могут быть не регенерируемыми и регенерируемыми. В последнем случае они подвергаются восстановлению с использованием регенеративной технологии, когда извлеченные вещества утилизируются, или деструктивной, при которой извлеченные вещества уничтожаются.

Для регенерации активных углей используют термические, химические или биологические методы. Летучие органические вещества удаляют высокотемпературной десорбцией воздухом ($120...140^\circ\text{C}$), паром ($200...300^\circ\text{C}$) или дымовыми газами ($300...500^\circ\text{C}$). При химической регенерации органические соединения удаляют промывкой растворами кислот или щелочей. Биологическая регенерация состоит в биохимическом окисления органических веществ в течение 10...20 ч. В зависимости от

назначения сорбционной очистки применяются различные методы регенерации сорбента или его уничтожения.

Эффективными сорбентами, используемыми в технологии очистки городских сточных вод являются гранулированные активные угли различных марок. Наибольшее распространение адсорбция получила на заключительных стадиях очистки сточных вод. Обусловлено это тем, что в составе поступающих сточных вод могут содержаться стойкие органические соединения, сброс которых со сточными водами ограничен.

Процесс сорбции осуществляют путем фильтрования сточных вод через слой плотно уложенного сорбента. После сооружений биологической очистки применяют безнапорные фильтры. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных в сточных водах органических веществ и изменяется в пределах 1...12 м/ч при крупности зерен сорбента - 0,8...5мм. Наиболее рациональное направление фильтрования - снизу вверх, так как в этом случае происходит равномерное заполнение всего сечения фильтра и относительно легко вытесняются пузырьки воздуха и газов, попадающих в слой сорбента вместе со сточной водой. Если вынос взвешенных веществ после биологической очистки превышает 10 мг/л, то для предотвращения заиливания адсорбционного фильтра перед ним устанавливают фильтр с зернистой загрузкой.

В процессе адсорбционной доочистки из воды удаляются биохимически стойкие органические вещества, микро количества ионов тяжелых металлов, радиоактивных изотопов, ртути, остаточный хлор, аммонийный азот, бактериальные и другие загрязнения. Ориентировочно принимается, что 1 кг угля снимает около 0,5 кг загрязнений, оцениваемых по ХПК. Результаты адсорбционной доочистки сточных вод приведены в табл. 8.4. В процессе длительной работы адсорбционных фильтров на поверхности зерен загрузки образуется биопленка, которая нарушает их нормальную работу, увеличивает потери напора. Вместе с этим нарастающая биопленка способствует более

глубокой очистке воды по БПК и содержанию азота. Это явление было положено в основу разработки сооружения для глубокой очистки сточных вод - биосорбера.

Таблица 8.4.

Результаты работы адсорбционных фильтров после полной биологической очистки городских сточных вод.

Показатель	Сточные воды		Средний эффект очистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л	10	1	90
ХПК _{общ.} мгО ₂ /л	47	9,5	80
ХПК фильтрата мгО ₂ /л	31	7	77
Общий органический углерод, мг/л	13	2,5	81

В биосорберах сочетаются биохимические и физико-химические процессы, происходящие во взвешенном и плотном слоях активного угля. Схема установки дана на рис. 8.22. Резервуар заполнен двумя слоями сорбционной загрузки: нижний слой псевдооживленный, верхний - плотный. Направление движения воды снизу-вверх. Скорость движения воды в нижнем слое 9 м/ч, в верхнем 3-5 м/ч. Окислительная мощность биосорбера по БПК в 1,6-1,8 раза, а по ХПК в 4-6 раз выше окислительной мощности аэротенка. В биосорбере активированный уголь не требует отдельной регенерации.

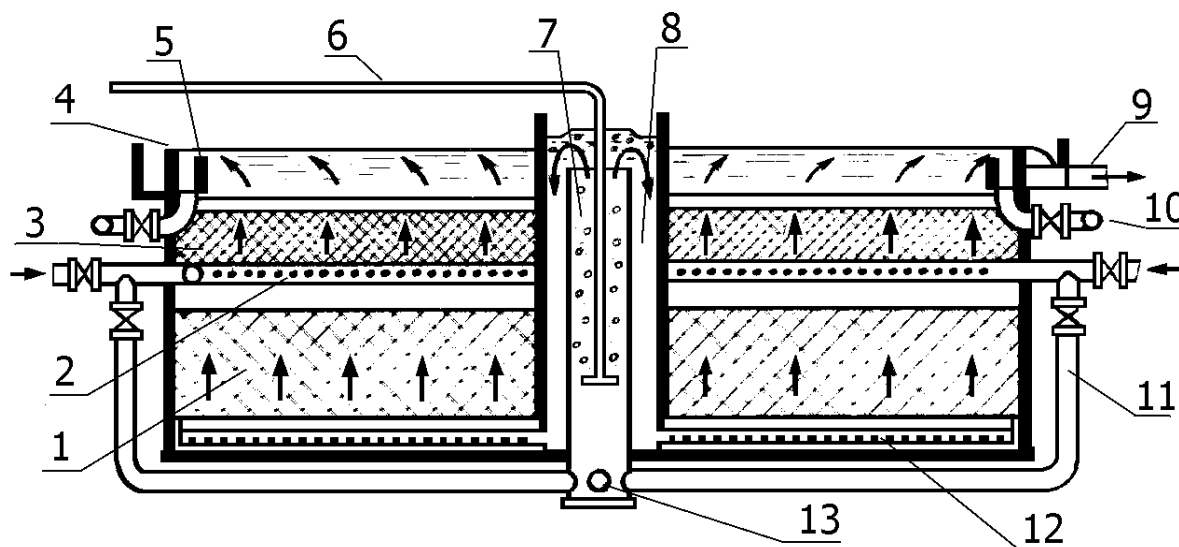


Рис. 8.22. Биосорбер конструкции ФГУП НИИ ВОДГЕО:

1 – взвешенный слой активного угля; 2 – дренажная система; 3 – плотный слой активного угля; 4 и 5 – водосливы очищенной и промывной воды; 6 – воздуховод; 7 – эрлифт; 8 – камера дегазации; 9 и 10 – отвод очищенной и промывной воды; 11 – циркуляционный трубопровод; 12 – распределительная система подачи воды; 13 – подача сточных вод

Исходя из задач очистки сточных вод населенных мест, сооружения физико-химической обработки могут быть основой технологического процесса или его частью в сочетании с другими сооружениями, например, механической или биологической очистки.

Наиболее простая схема станции физико-химической очистки сточных вод включает коагулирование и отделение скоагулированных загрязнений от воды в процессе отстаивания или флотации. Такая схема может быть реализована в короткий срок на базе как новых, так и старых сооружений механической очистки. В последнем случае относительно небольшие капитальные вложения, необходимые для реконструкции станций механической очистки, позволяют значительно улучшить качество очищенных сточных вод.

Существенное повышение эффективности очистных сооружений обеспечивается также путем сочетания реагентной обработки сточных вод с адсорбционной ступенью очистки - фильтрованием через слой активного угля. Так, при необходимости достижения глубокой очистки сточных вод на

очистных сооружениях с ограниченной территорией может быть применен технологический процесс по схеме: коагулирование → флотация → сорбция.

Замена отстойников на флотаторы, имеющие зону осаждения тяжелых примесей, в несколько раз уменьшает продолжительность стадии отделения грубодисперсных примесей сточных вод.

Принципиальная схема такой станции очистки сточных вод приведена на рис.8.23.

Очистные сооружения, построенные по этой схеме, обеспечивают эффективность очистки сточных вод населенного пункта по показателям ХПК - 85%, БПК₅ - 96%, взвешенным веществам - 90% фосфатам - 95%, ПАВ - 95%, азоту общему – 57%. Эффективность снижения аммонийного азота существенно зависит от материала загрузки адсорбционных фильтров.

При необходимости глубокого извлечения из сточных вод соединений азота технологические схемы дополняются ступенью очистки, основанной на одном из физико-химических приемов, обладающих избирательным действием, либо на биологическом процессе нитрификации-денитрификации.

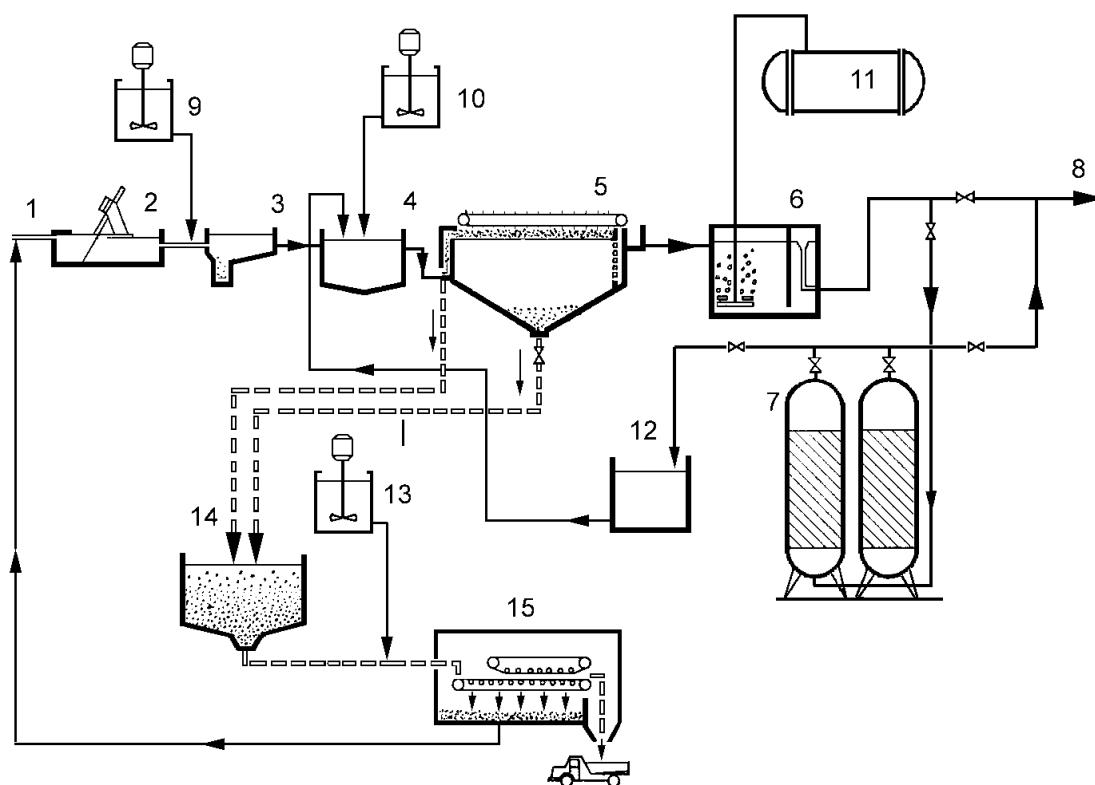


Рис. 8.23. Схема станции с трехступенчатой физико-химической очисткой сточных вод: 1, 8 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – решетка; 3 – песколовка; 4 – камера флокуляции; 5 – отстойник-флотатор; 6 – контактная камера; 7 – адсорбционные фильтры; 9 – подача коагулянта; 10, 13 – подача флокулянта; 11 – озонатор; 12 – резервуар грязных промывных вод; 14 – уплотнитель осадка; 15 – фильтр-пресс.

Станции очистки сточных вод, сконструированные по более сложным схемам, отличаются высокой интенсивностью и глубиной удаления загрязнений по всем основным показателям. В ряде случаев это позволяет использовать очищенные сточные воды в оборотных системах промышленных предприятий и сельском хозяйстве. Схемы таких очистных сооружений, как правило, сочетают методы механической, физико-химической и биологической очистки воды. Причем технологические последовательности и сочетания их могут быть разными.

Поскольку физико-химические методы очистки сточных вод основаны на привлечении дополнительной энергии из внешних источников, затраты на их осуществление выше, по сравнению с методами, в которых используется собственная энергия системы (механическими и, частично, биологическими).

Тема 9. Обеззараживание

Классификация методов обеззараживания сточных вод

Обеззараживание сточных вод имеет целью уничтожение оставшихся в них патогенных бактерий и снижение эпидемиологической опасности при сбросе в поверхностные водоемы. Запрещается сброс в водные объекты сточных вод, содержащих возбудителей инфекционных заболеваний. Стоки опасные в эпидемиологическом отношении, допустимо сбрасывать в водоем только после их очистки и обеззараживания. При этом количество лактозоположительных кишечных палочек (индекс ЛКП) в сточной воде не должен превышать 1000 кл/дм³.

Из опыта очистки сточных вод известно, что при первичном отстаивании общее количество бактерий снижается на 30...40%, а после

ступени биологической очистки (на биофильтрах или аэротенках) – на 90...95%. Это доказывает необходимость применения специальных методов обеззараживания очищенных сточных вод для обеспечения их эпидемиологической безопасности.

Применяемые в настоящее время методы обеззараживания воды можно разделить на две основные группы: химические и физические. К химическим методам относятся окислительные и олигодинамические (воздействие ионами благородных металлов). В качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, озон, марганцовокислый калий, перекись водорода, гипохлориты натрия и кальция. К физическим методам – термическая обработка, ультрафиолетовое облучение, воздействие ультразвуком, облучение ускоренными электронами и γ -лучами. Выбор метода обеззараживания осуществляется на основании данных о расходе и качестве очищенных сточных вод, условиях поставки и хранения реагентов и условий энергоснабжения, наличия особых требований.

Обеззараживание воды хлорированием

Наибольшее распространение получил метод хлорирования сточных вод. Бактерицидный эффект хлора и его производных объясняется взаимодействием хлорноватистой кислоты и гипохлорит иона с веществами, входящими в состав протоплазмы клеток бактерий, в результате чего последние гибнут. Однако имеются отдельные виды вирусов устойчивые к воздействию хлора. Под активным хлором понимают растворенный молекулярный хлор и его соединения — диоксид хлора, хлорамины, органические хлорамины, гипохлориты и хлораты. При этом различают активный свободный хлор (молекулярный хлор, хлорноватистую кислоту и гипохлорит ион) и активный связанный хлор, входящий в состав хлораминов. Бактерицидное действие свободного хлора значительно выше, чем связанного. Хлор вводят в сточную воду в виде растворенного хлор-газа или других веществ, образующих в воде активный хлор. Количество активного

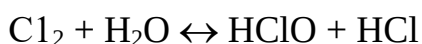
хлора, вводимого на единицу объема сточной воды, называется дозой хлора и выражается в граммах на 1 м³ (г/м³).

Расчетную дозу активного хлора, обеспечивающую бактерицидный эффект, следует принимать: после механической очистки сточных вод - 10 г/м³; после неполной биологической очистки - 5 г/м³; после полной биологической очистки - 3 г/м³. При этом уровень остаточного хлора должен быть не менее 1,5 г/м³, а период не менее 30 мин. Хлор, добавленный к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней.

Блок обеззараживания очистных сооружений состоит из установки для получения раствора, содержащего активный хлор (хлорной воды), смесителя хлорной воды с обрабатываемой водой и контактного резервуара, обеспечивающего необходимый период обеззараживания.

Хлорирование жидким хлором. Заводы поставляют хлор в баллонах массой до 100 кг и в контейнерах массой до 3000 кг, а также в железнодорожных цистернах вместимостью 48 т, для предотвращения испарения жидкий хлор хранится под давлением 0,6...0,8 МПа.

При растворении хлора в воде, происходит его гидролиз:



Часть хлорноватистой кислоты HClO диссоциирует с образованием гипохлорит иона OCl⁻, который и является обеззараживающим веществом.

Хлорирование жидким хлором является наиболее широко применяемым методом обеззараживания воды на средних и крупных водоочистных станциях.

Ввиду малой растворимости жидкого хлора поступающий реагент предварительно испаряют. Затем хлор-газ растворяют в малом количестве воды, полученную хлорную воду перемешивают с обрабатываемой водой. Дозировка хлора происходит в фазе газообразного вещества, соответствующие газодозаторы называются хлораторами. Хлораторы разделяются на две основные группы: напорные и вакуумные. Вакуумные

хлораторы обеспечивают большую безопасность работы персонала в хлораторной. Применяются хлораторы пропорционального и постоянного расхода, а также автоматические хлораторы, поддерживающие в воде заданную концентрацию остаточного хлора. В нашей стране наибольшее распространение получили вакуумные хлораторы постоянного расхода типа "ЛОНИИ-СТО" (рис.9.1).

Его аналогом, выпускаемым в настоящее время, является хлоратор АХВ-1000, производительностью по хлору от 2 до 12 кг/ч.

Приготовление раствора хлора в воде (хлорную воду) осуществляют в хлораторных (рис. 9.2). Для испарения хлора баллон или контейнер устанавливают на весы, по показаниям которых определяют количество жидкого хлора. Приготовление хлорной воды происходит в смесителе. Необходимый вакуум создается эжектором, при помощи которого хлорная вода подается в смеситель, где смешивается с обрабатываемой водой.

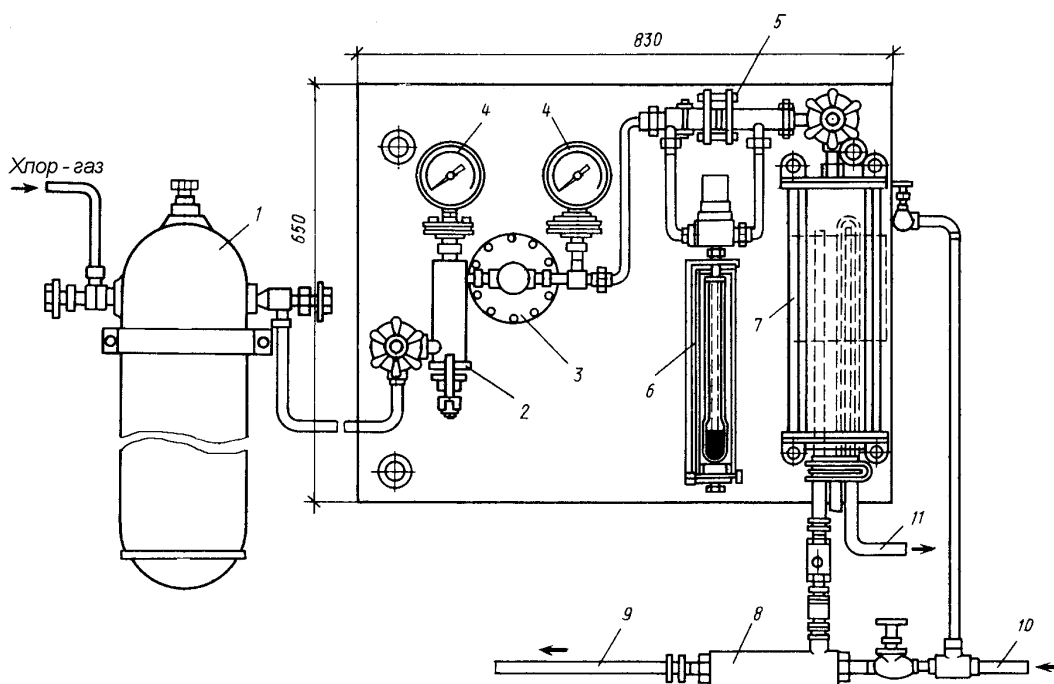


Рис.9.1. Хлоратор ЛОНИИ-СТО: 1- промежуточный баллон; 2- фильтр; 3- редуктор; 4- манометры; 5- измерительная диафрагма; 6- ротаметр; 7- смеситель; 8- эжектор; 9- трубопровод хлорной воды; 10- водопроводная вода; 11- перелив и опорожнение.

Хлорное хозяйство располагается в отдельном здании, где сблокированы склад хлора, испарительная, хлораторная и вспомогательные помещения.

Расходный склад хлора отделен от остальных помещений глухой стеной без проемов. Емкость расходного склада хлора не должна превышать 100 т. Жидкий хлор хранится на складе в баллонах или контейнерах, при суточном расходе хлора более 1 т - в танках вместимостью до 50 т с поставкой хлора в железнодорожных цистернах.

Склад размещают в наземном или полузаглубленном здании с двумя выходами с противоположных сторон здания. В помещении склада необходимо иметь емкость с нейтрализационным раствором сульфита натрия для быстрого погружения в нее аварийных контейнеров или баллонов.

В хлораторных устанавливают дозаторы хлора с необходимой арматурой и трубопроводами. Помещение хлораторной должно быть отделено от других помещений глухой стеной без проемов, и иметь два выхода, причем один из них через тамбур. Все двери должны открываться наружу, в помещении должна быть принудительная вытяжная вентиляция с забором воздуха у пола.

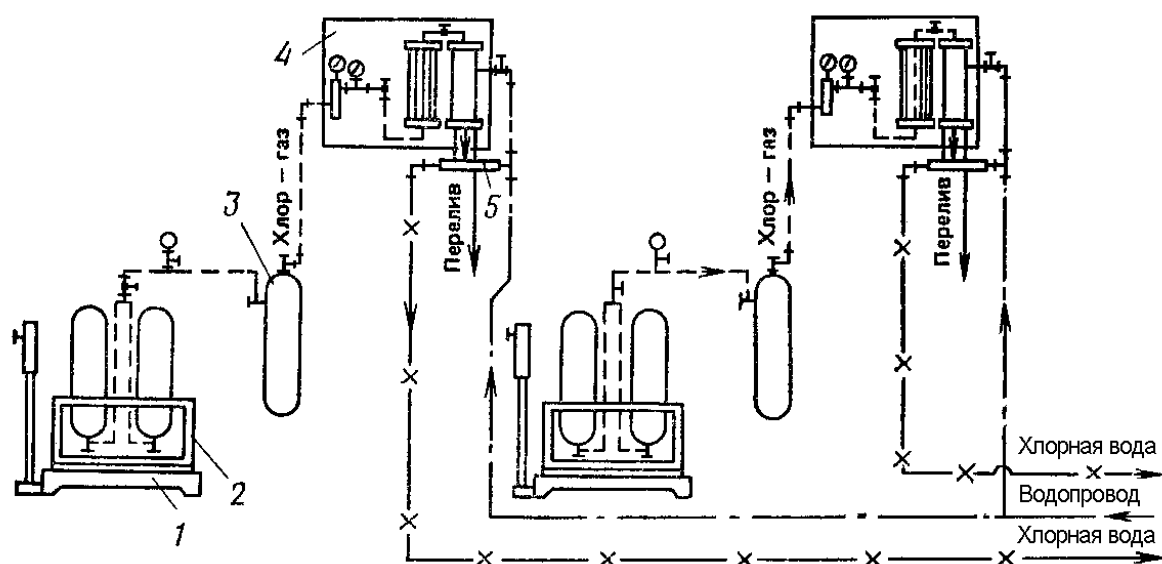


Рис. 9.2. Технологическая схема хлораторной: 1- весы; 2- стойка с баллонами; 3- грязеуловитель (промежуточный баллон); 4- хлоратор; 5- эжектор.

Трубопроводы хлорной воды выполняются из коррозионно-стойких материалов. В помещении трубопровод устанавливают в каналах в полу или на кронштейнах, вне здания — в подземных каналах или футлярах из

коррозионно-стойких труб.

Использование порошкообразных реагентов. На малых станциях и водоочистных установках целесообразно отказаться от использования жидкого хлора и применить твердые, порошкообразные вещества — хлорную известь CaCl_2O и гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Эти вещества менее опасны в обращении, процесс их подготовки и подачи значительно проще — практически аналогичен применению коагулянта.

Товарный продукт CaCl_2O или $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ растворяют в растворном баке с механическим перемешиванием. Количество баков не менее двух. Затем раствор разбавляют в расходном баке до концентрации 0,5...1 % и подают в воду дозаторами растворов и суспензий.

Учитывая коррозионную активность раствора, баки следует изготавливать из дерева, пластмассы или железобетона, из коррозионно-стойких материалов (полиэтилен или винипласт) должны быть также трубопроводы и арматура.

Хлорирование воды гипохлоритом натрия. На очистных станциях, где суточный расход хлора не превышает 50 кг/сут, а транспортировка, хранение и подготовка токсичного хлора связаны с трудностями, можно для хлорирования воды использовать гипохлорит натрия NaClO . Данный реагент получают на месте применения, используя установки электролиза раствора поваренной соли (рис.8.3).

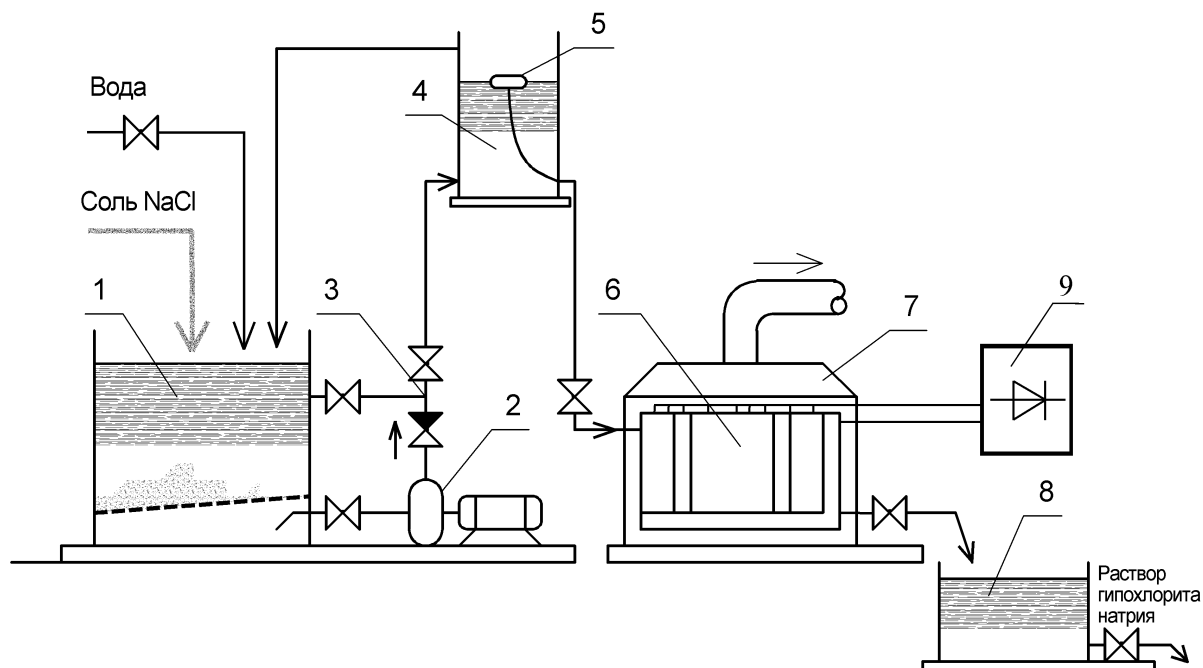
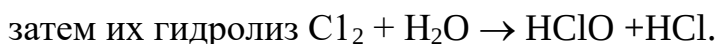


Рис. 9.3. Схема установки для получения гипохлорита натрия электролизом: 1- растворный бак; 2- насос; 3- распределительный тройник; 4- рабочий бак; 5- поплавков дозатор; 6- электролизер; 7- зонтик вытяжной вентиляции; 8- бак-накопитель гипохлорита натрия; 9- источник постоянного тока.

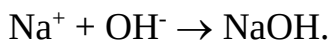
В растворном баке приготавливается раствор NaCl, близкий к насыщенному — 200...310 г/л. Для перемешивания применяют механические устройства, циркуляционные насосы или сжатый воздух.

Электролизеры могут быть проточного или непроточного типа, наиболее широко используют последние. Они представляют собой ванну с установленным там пакетом пластинчатых электродов. Электроды, как правило, графитовые, присоединенные к источнику постоянного тока.

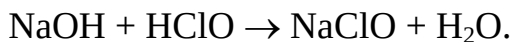
В электролизной ванне соль и вода находятся в диссоциированном состоянии. При подаче тока на электроды на аноде будет происходить:



На катоде выделяется газ H_2 и образуется едкий натр:



В результате реакции хлорноватистой кислоты с едким натром образуется гипохлорит:



По завершении процесса электролиза, ванна опорожняется и заполняется новой порцией раствора NaCl. При работе электролизера необходимо свести к минимуму распад образованного NaClO. Для этого следует процесс электролиза провести при низкой температуре и большой плотности тока на аноде.

На станции необходимо иметь не менее трех электролизеров, которые устанавливают в сухом отапливаемом помещении. В электролизной ванне должны быть трубопроводы для водяного охлаждения, над электролизером устанавливают зонт вытяжной вентиляции для удаления выделяющихся газов. Высотное расположение электролизера должно обеспечить поступление раствора NaClO в бак-накопитель самотеком. Бак-накопитель размещают в вентилируемом помещении, дозировку раствора гипохлорита в воду производят эжектором, насосом-дозатором или другим устройством для подачи растворов и суспензий.

Смесители хлорной воды с обрабатываемой водой подразделяют на три типа: ершовые (при расходе сточных вод до 1400 м³/сут), типа лоток Паршаля (рис. 9.4) и в виде емкости с пневматическим или механическим перемешиванием.

Контактные резервуары предназначены для обеспечения расчетной продолжительности контакта очищенных сточных вод с хлором или гипохлоритом натрия. Они проектируются как первичные горизонтальные отстойники количеством не менее двух без скребков на время пребывания сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске. Разработано несколько типовых проектов контактных резервуаров, общий вид одного из них приведен на рис. 9.5. В контактных резервуарах предусматривается периодическое (примерно раз в 5...7 суток) удаление образующегося осадка и перекачка его в приемную камеру очистных сооружений.

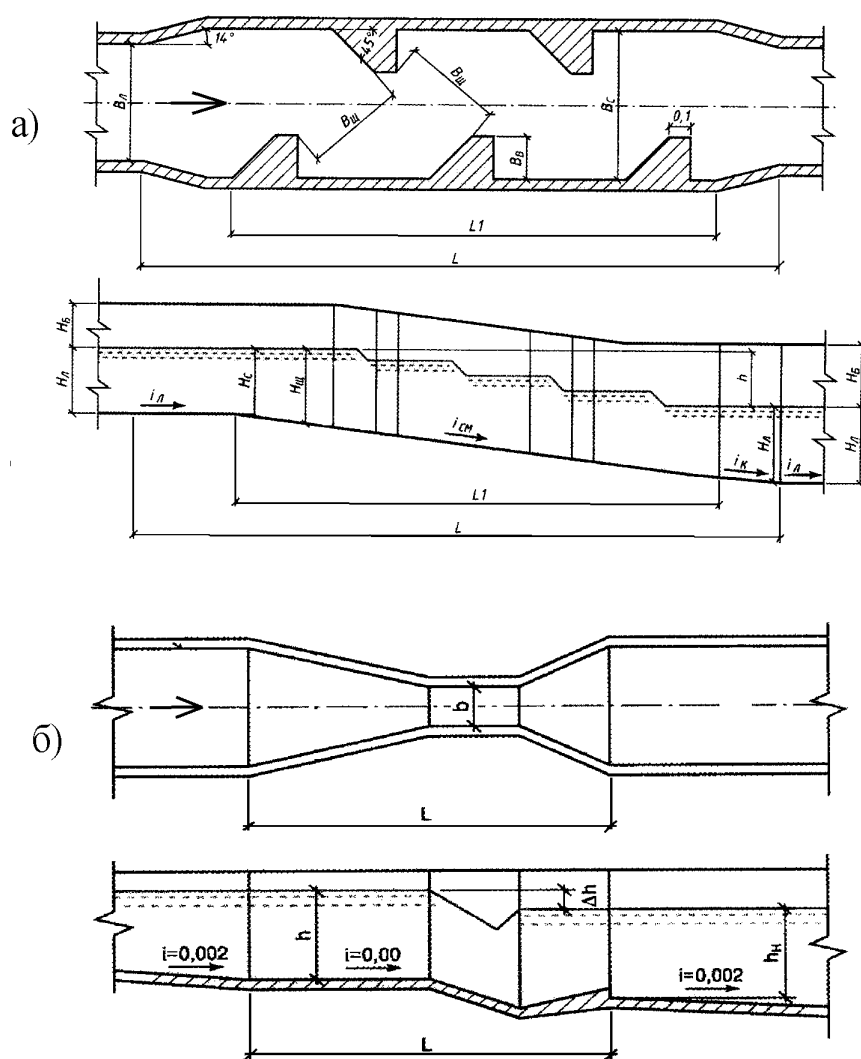


Рис. 9.4. Смесители хлорной воды: а – ершового типа; б – типа лоток Паршалля.

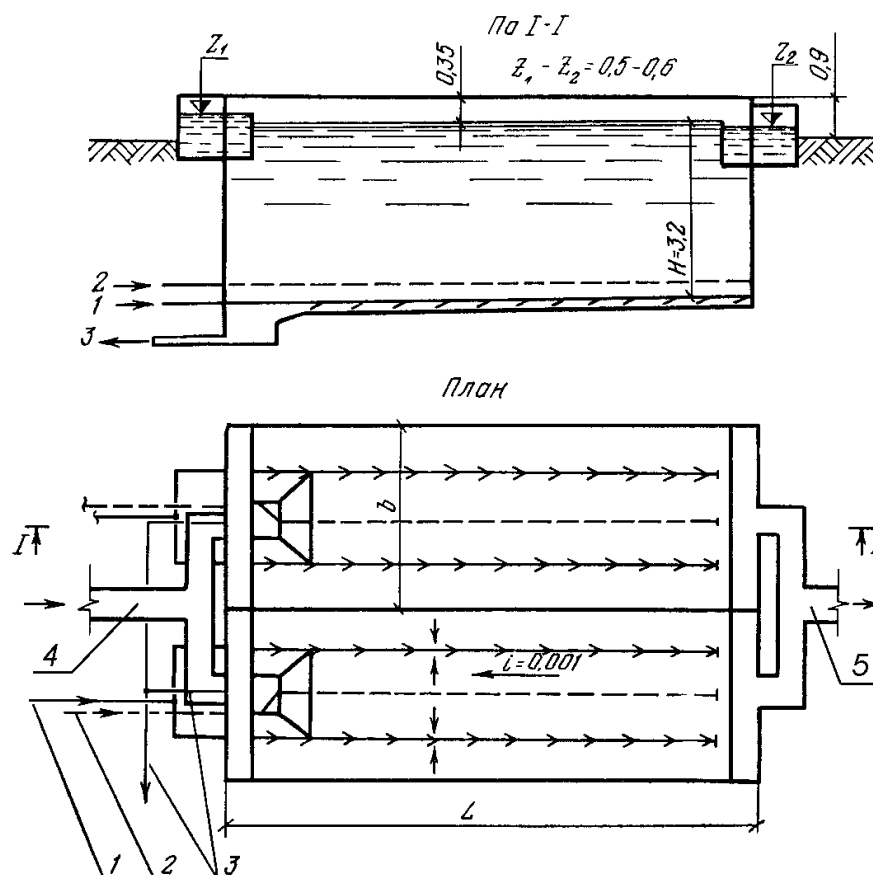


Рис. 9.5. Контактный резервуар для хлорирования сточных вод: 1- трубопровод технической воды; 2- трубопровод сжатого воздуха; 3- трубопровод опорожнения; 4, 5- лотки подвода и отведения сточной воды.

Обеззараживание озонированием

Озон (O_3) - аллотропная модификацией кислорода, наиболее сильный из известных в настоящее время окислителей. Так же, как и хлор, озон является высокотоксичным, ядовитым газом. Это нестойкое вещество и саморазлагается, образуя кислород.

Обладая высоким окислительно-восстановительным потенциалом озон проявляет высокую реакционную активность по отношению к различного рода примесям воды, включая биологически не разлагаемые соединения и микроорганизмы. При взаимодействии озона с примесями воды протекает процесс их окисления. Одно из его преимуществ перед другими окислителями с гигиенической точки зрения – неспособность к реакциям замещения (в отличие от хлора). При озонировании в обрабатываемую воду

не вносятся дополнительные примеси, а вероятность образования токсичных соединений значительно ниже, чем при хлорировании.

Бактерицидное действие озона объясняется его способностью нарушать обмен веществ в живой клетке за счет смещения равновесия восстановления сульфидных групп в неактивные дисульфидные формы. Озон очень эффективно обеззараживает споры, патогенные микроорганизмы и вирусы.

Интерес к применению озона для обработки сточных вод возник в связи с его потенциально меньшей опасностью для водоемов. Остаточный растворенный в воде озон полностью разлагается за 7...10 мин и в водоем не поступает. При обработке воды не образуются высокотоксичные галогенорганические соединения. Как правило, использование озона для обработки сточных вод имеет двойную цель: обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды, кроме того, разложившиеся, не вступившие в реакцию молекулы озона обогащают воду растворенным кислородом.

Приблизительная доза озона для обеззараживания городских сточных вод прошедших полную биологическую очистки 8...14 г/м³. Необходимая продолжительность контакта около 15 мин. Если целью применения озонирования является не только обеззараживание, но и доочистка сточных вод, то возможно увеличение дозы озона и продолжительности контакта. Так при озонировании биологически очищенных городских сточных вод с дозой озона около 20 г/м³ помимо полного обеззараживания происходит снижение ХПК воды на 40%, БПК₅ на 60...70%, ПАВ на 90%, окраска воды на 60%, практически полностью пропадает запах. На реакции озона в воде влияет большое число факторов и поэтому, более точно его дозу, определяют экспериментальным путем.

Получение озона. Озон быстро разлагается и не хранится, поэтому его получают на места использования. Аппараты для получения озона называют генераторами озона или озонаторами. В промышленных условиях озон

получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым подводится переменный электрический ток высокого напряжения (5...25кВ). Чтобы избежать образования электрической дуги, один, а иногда оба электрода, покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрическим барьером), образующим эквипотенциальную поверхность. В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный (тихий) разряд.

Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков - получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис.9.6) включает четыре ступени: забор и сжатие воздуха; охлаждение; осушка и фильтрование воздуха; генерация озона.

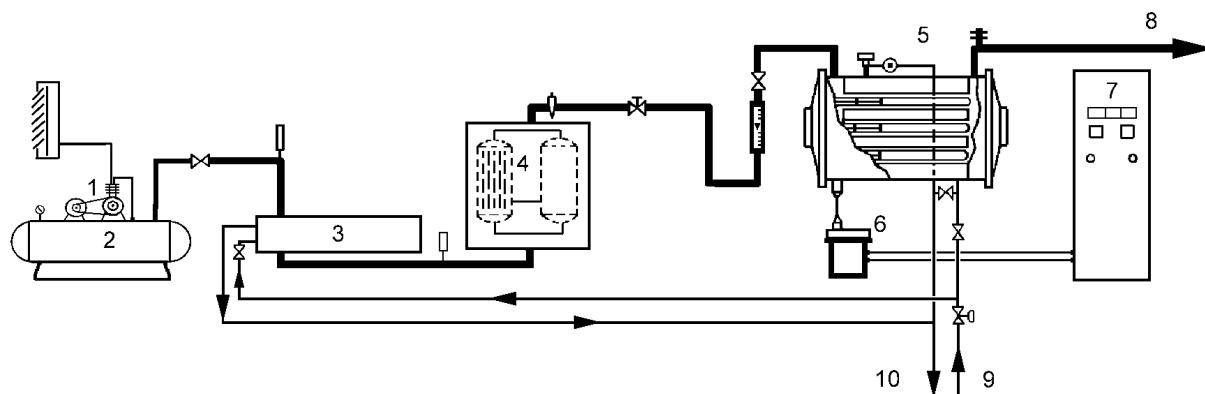


Рис. 9.6. Схема установки получения озона из воздуха: 1- компрессор; 2- ресивер; 3- охладитель воздуха; 4- осушительная установка; 5- генератор озона; 6- высоковольтный трансформатор; 7- электрический щит управления; 8- трубопровод озono-воздушной смеси в контактную камеру; 9,10- подача и отведение охлаждающей воды.

Атмосферный воздух забирается через воздухозаборную шахту, оснащенную грубым фильтром, и компрессорами подается в специальные охладители, а затем на автоматические установки для осушки воздуха на адсорбенте – силикагеле. Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

В обрабатываемую сточную воду озон вводят различными способами:

барботированием содержащего озон воздуха через слой воды (диспергирование воздуха происходит через фильтросы); смешиванием воды с озono-воздушной смесью в эжекторах или в специальных импеллерных механических смесителях.

Выбор типа контактной камеры определяется расходами обрабатываемой воды и озono-воздушной смеси, необходимым периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

Контактные камеры. Основные типы контактных камер для обработки воды показаны на рис.9.7.

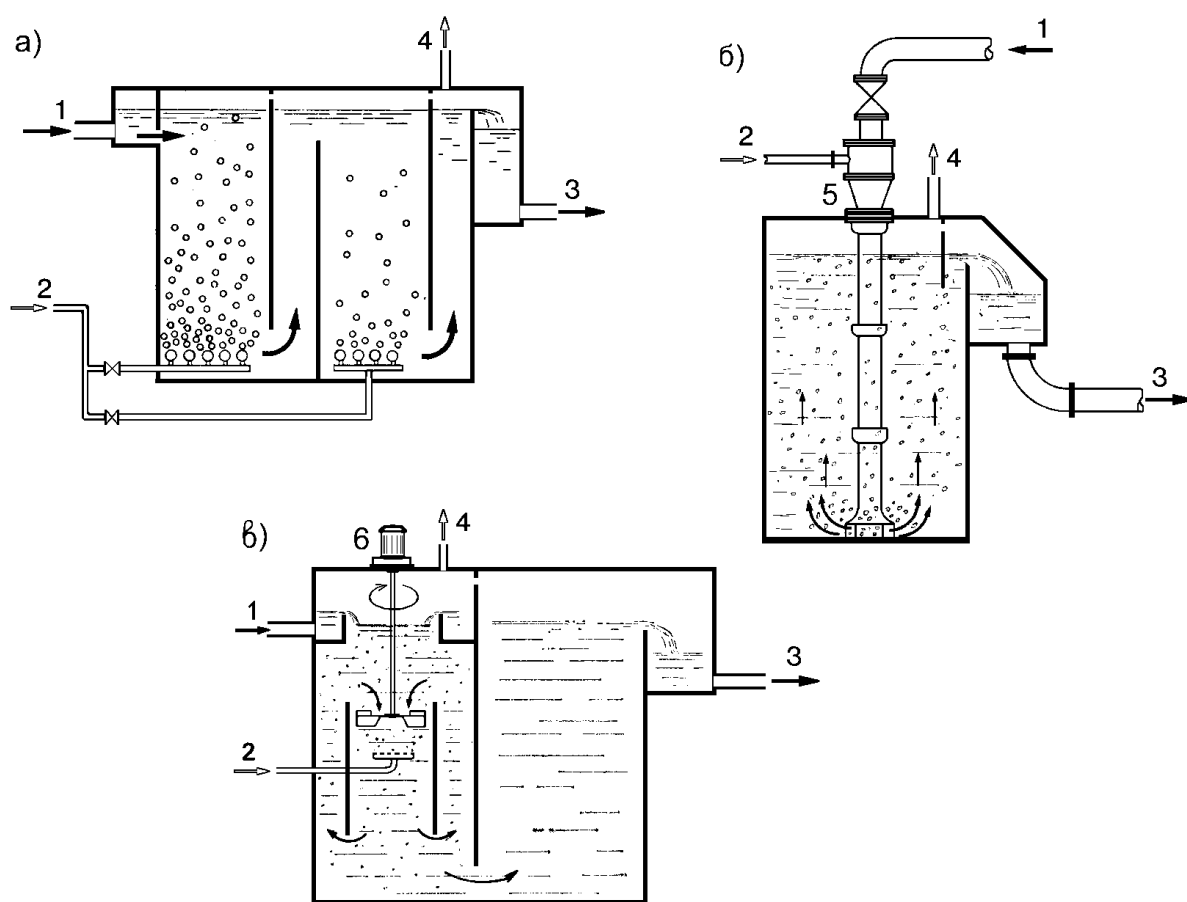


Рис. 9.7. Контактные камеры: а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором; в – камера, оборудованная импеллером: 1- подача сточной воды; 2- подача озono-воздушной смеси; 3- отведение обработанной воды; 4- выпуск отработанной озono-воздушной смеси; 5- инжектор; 6- импеллерное устройство.

Двухсекционная барботажная контактная камера (рис.9.7 а) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и

для их глубокой очистки. Озоно-воздушная смесь диспергируется в воде фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб или разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Они обеспечивают получение пузырьков газа диаметром 1...4 мм. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис.9.7, б дан пример контактной камеры с инъекцией озоно-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водогазовая эмульсия подается инжектором ко дну контактного аппарата, откуда поднимается вместе с обрабатываемой водой.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем - импеллером (рис.9.7, в), применяются, как правило, для небольших расходов воды. Озоно-воздушная смесь подается в зону всасывания импеллера, который дробит ее на мелкие пузырьки и смешивает с обрабатываемой водой. Водогазовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение пузырьков газа по объему реактора.

Количество не использованного в процессе обработки воды озона может составлять 2...8%. С целью предотвращения выбросов в атмосферу не прореагировавшего в контактных аппаратах озона, в системе выпуска отработанной озоно-воздушной смеси предусматривают установку деструкторов остаточного озона. Наибольшее распространение получили термические и термокаталитические деструкторы. Термический метод основан на способности озона быстро разлагаться при высоких температурах. В аппаратах термической деструкции озона обрабатываемый газ нагревают до температуры 340...350 °С и выдерживают в течение 3 секунд. Термокаталитический метод деструкции основан на быстром разложении озона на кислород и атомарный кислород при температуре 60...120°С в

присутствии катализаторов.

Обеззараживание ультрафиолетовым облучением

Наиболее распространенный безреагентный метод обеззараживания сточных вод – использование бактерицидного ультрафиолетового (УФ) излучения воздействующего на различные микроорганизмы, включая, бактерии, вирусы и грибы.

Обеззараживающий эффект УФ излучения обусловлен необратимым повреждением молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в сточной воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии излучения.

Степень инаktivации микроорганизмов УФ излучением пропорциональна его интенсивности I (МВт/см²) и времени облучения T (с). Произведение этих величин называется дозой облучения D (мДж/см²) и является мерой бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизмам.

При проектировании установок УФ обеззараживания сточных вод доза облучения принимается не менее 30 мДж/см².

Положительные санитарно-технологические аспекты применения УФ излучения для обеззараживания сточных вод — это непродолжительное время контакта, исключение образования токсичных и канцерогенных продуктов, а также отсутствие пролонгированного биоцидного эффекта, оказывающего отрицательное влияние на водоем – приемник сточных вод. Отсутствует необходимость хранения опасных материалов и реагентов. Установки обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым излучением легко автоматизируются и быстро запускаются в работу, они достаточно просты в обслуживании.

Данный метод обеззараживания наиболее применим на очистных сооружениях небольшой производительности (до 20000 м³/сут). УФ установки эффективны при обеззараживании сточных вод, прошедших

качественную биологическую очистку или доочистку на крупнозернистых фильтрах, так как присутствие взвешенных веществ существенно снижает бактерицидный эффект.

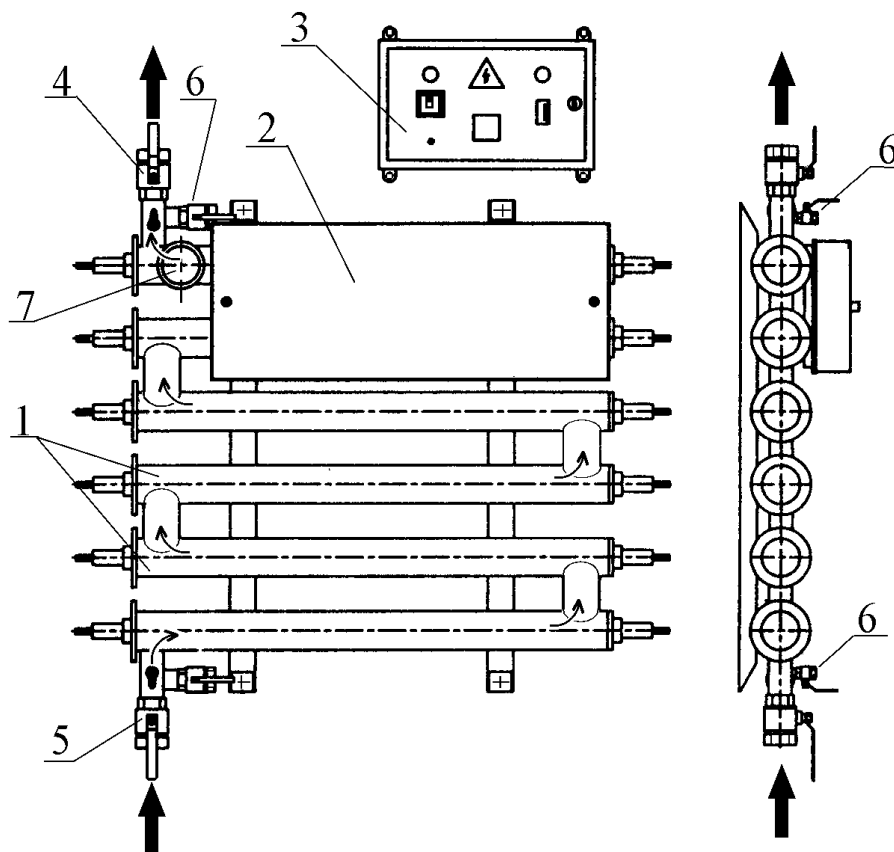


Рис. 9.8. Установка обеззараживания воды УФ-излучением УДВ-6/6: 1- модули УФ-ламп; 2- блок питания ламп; 3- пульт управления установкой; 4 – штуцер отведения обработанной воды, 5- штуцер подачи сточной воды; 6- штуцера подключения установки для промывки ламп кислотой; 7- иллюминатор со светофильтром.

В качестве источников УФ излучения применяют специальные ртутно-кварцевые и ртутно-аргоновые лампы со специальным стеклом, которое благодаря отсутствию в нем оксидов Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , V_2O_3 и сульфидов тяжелых металлов, поглощающих УФ лучи, обладает повышенной прозрачностью в области УФ спектра. Лампы низкого давления имеют потребляемую мощность 2...200 Вт и рабочую температуру 40...150°C, лампы высокого давления — мощность в пределах 50...10000 Вт при рабочей температуре 600...800°C.

Для обеззараживания сточных вод применяют установки напорного и

безнапорного типа, которые свою очередь бывают с погруженными в воду источниками излучения (лампами) и не погруженными.

В нашей стране выпускаются напорные установки серии УДВ (НПО "ЛИТ") заводского изготовления для обеззараживания воды производительностью от 6 до 1000 м³/ч и дозой облучения 45 мДж/см². В установках используются бактерицидные лампы низкого давления типа ДБ-75-2 со сроком службы 12000 ч (1,5 года). На рис. 9.8. представлена установка УДВ-6/6 производительностью 6 м³/ч. Также выпускается оборудование для установок большей производительности безнапорного типа.

Тема 10. Глубокая очистка сточных вод

Биогенные элементы – элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Важнейшими биогенными элементами являются кислород, углерод, водород, азот, фосфор, сера, кальций, калий, натрий, хлор. Все указанные элементы играют важную роль в биологических процессах, происходящих в окружающем нас мире, в том числе и в воде водоемов.

В практике очистки сточных вод выделяют два основных биогенных элемента: азот (N) и фосфор (P).

Биогенные вещества (азот и фосфор) являются одними из основных составляющих компонентов сточной воды присутствие, которых в коммунальных или близких к ним по составу хозяйственно-бытовых водах фиксируются постоянно. Азот в сточной воде может быть представлен несколькими соединениями: азот аммонийный (NH₄⁺), азот нитритов (NO₂⁻), азот нитратов (NO₃⁻), азот органический (в составе органических соединений). Фосфор в сточных водах находится в составе органических соединений (органический фосфор), полифосфатов (P₂O₅) и ортофосфатов (PO₄).

Современный мир создает крайне нестабильную ситуацию, где наблюдается перепроизводство отходов и изготовление небиodeградирующих материалов, которые с большим трудом разлагаются и ассимилируются в результате естественных процессов. Нестабильная ситуация все в большей мере проявляется в загрязнении водоемов в сильно заселенных и производственно развитых областях континентов, где водные источники подвергаются различного рода загрязнениям, в том числе и эвтрофикации.

Как известно, именно, биогенные элементы, попадающие в воду водоемов, являются причиной развития в них водорослей, которые вызывают их эвтрофикацию. Эвтрофикация может быть результатом как естественного старения водоема, так и антропогенных воздействий.

Биологический метод удаления азота. Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота.

Для денитрифицирующих бактерий характерной особенностью является возможность использовать источники энергии или в присутствии кислорода или без него с восстановлением нитратов и образованием азота (N_2). Биологический метод удаления аммонийного азота из сточных вод является наиболее приемлемым в современных условиях.

Биологические процессы глубокой очистки сточных вод от соединений азота можно осуществить двумя способами:

- с использованием биомассы (активного ила), находящейся во взвешенном состоянии;

- с использованием прикрепленной активной биомассы.

В обоих способах могут быть использованы комбинированные и отдельные системы очистки. В комбинированных системах в одном сооружении предусматривается проведение нитрификации и денитрификации, а в отдельных – только нитрификации или денитрификации. В отдельных системах с использованием взвешенной культуры процессы очистки сточных вод от органических веществ, нитрификация и денитрификация осуществляются специфическими илами; после каждой ступени имеется свой вторичный отстойник. Последовательность отдельных стадий процесса очистки может быть самая разнообразная. Наиболее часто встречающиеся показаны на рис.10.1.

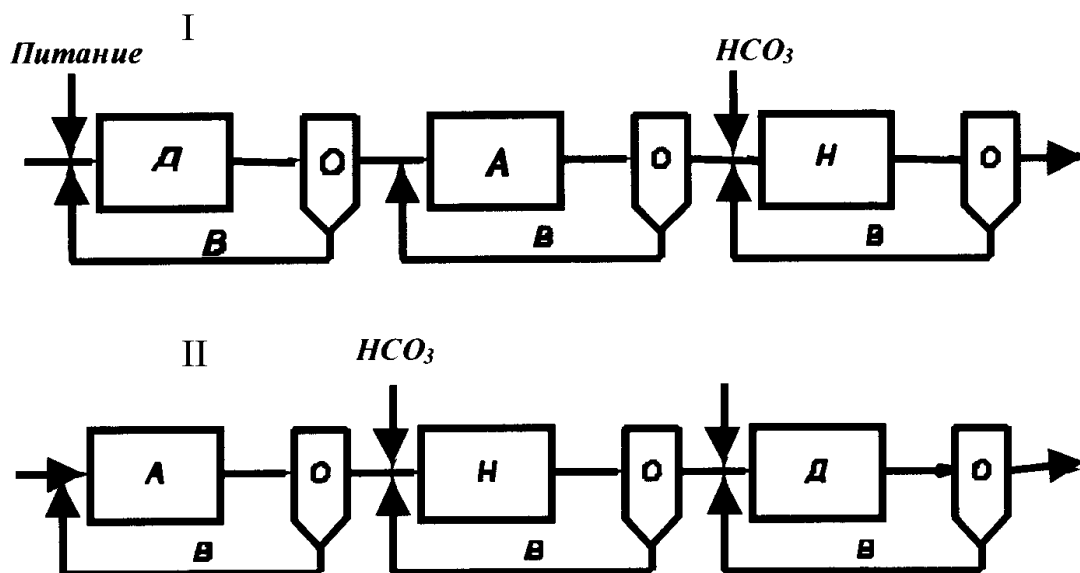


Рис. 10.1. Схема удаления азота с различным расположением денитрификационных зон: I – с денитрификатором в начале процесса; II – с денитрификатором в конце процесса; А – аэротенк; Н – зона нитрификации; Д – зона денитрификации; О – отстойник; В – возвратный активный ил

Процесс очистки по данным схемам характеризуется высокими скоростями, легкостью управления и устойчивостью на каждой стадии. Недостатком отдельных систем является наличие дополнительных вторичных отстойников, требующих насосных станций для перекачивания циркулирующего ила из-за перепадов высот. Отдельные стадии процессов могут осуществляться в реакторах-смесителях, вытеснителях или в реакторах промежуточного типа, с отдельно стоящими регенераторами или без них, с

подачей отдельных потоков азотсодержащих вод в регенераторы или без подачи. Узел илоотделения может быть выполнен в виде обычного вторичного отстойника или тонкослойного двухступенчатого отстойника с взвешенным слоем осадка, флотационного илоотделителя или микрофилтра.

В комбинированных системах с использованием взвешенной культуры процессы очистки сточных вод от органических соединений, нитрификация и денитрификация осуществляются в одном сооружении смешанной популяцией микроорганизмов. Активный ил отделяется от очищенной жидкости в отдельно стоящем или совмещенном с биохимическим реактором илоотделителе. В некоторых случаях, особенно при очистке концентрированных азотсодержащих сточных вод, комбинированную систему разделяют на две ступени очистки.

Для очистки слабоконцентрированных сточных вод получили распространение следующие три схемы (рис.10.2).

По первой схеме сточная жидкость после первичных отстойников направляется в аэротенки с продленной аэрацией, где происходит глубокая нитрификация, затем иловая смесь разделяется во вторичном отстойнике. Осевший ил направляется в начало аэротенка, а осветленная жидкость, содержащая нитраты, – в денитрификатор, в котором без доступа кислорода при медленном перемешивании иловой смеси азот нитратов восстанавливается до газообразного азота. После денитрификации иловая смесь аэрируется. Аэрация обеспечивает отдувку азота из иловой смеси, насыщение воды кислородом и предотвращение дальнейшего образования азота, стабилизацию ила, удаление избыточного углерода. Длительность последующей аэрации составляет 0,5–2 ч. Затем иловая смесь поступает в третичный отстойник. Осевший ил возвращается в начало денитрификатора, а осветленная жидкость сбрасывается в водоем.

Вторая схема отличается от первой отсутствием вторичного отстойника. В третьей схеме денитрификация протекает в начале процесса очистки. Для

снижения остаточного содержания нитратного азота предусматривается значительная (до 300–500%) рециркуляция иловой смеси из конца реактора в начало денитрификатора. Следует отметить, что для проведения процесса денитрификации сточных вод на определенном этапе очистки необходимо дополнительное введение углеродного субстрата. В качестве данного субстрата могут применяться метанол, сточная жидкость, диоксид углерода и другие вещества.

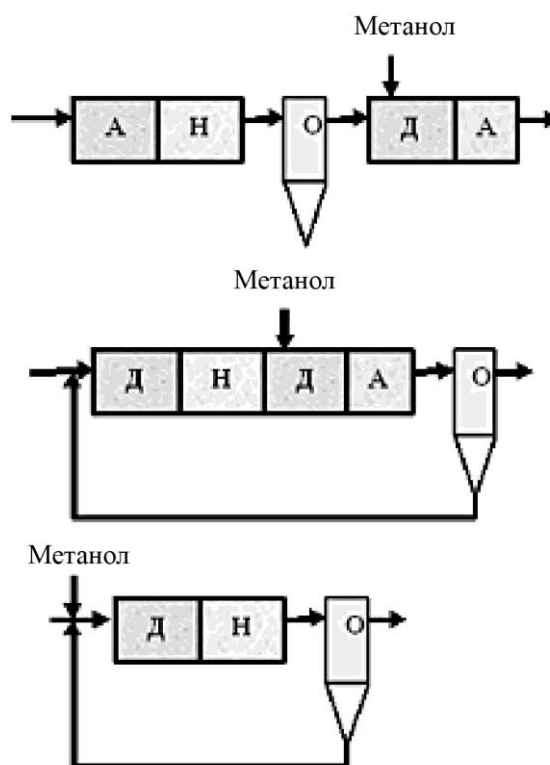


Рис. 10.2. Схема удаления азота из слабokonцентрированных сточных вод: I – двухлоновая система; II – однолоновая система; III – однолоновая система с рециркуляцией: А – аэротенк; Н – зона нитрификации; Д – зона денитрификации; О – отстойник; В – возвратный активный ил

В системах нитри-денитрификации регулирование процессов может производиться по временному принципу, пространственному принципу или их комбинацией. Регулирование по временному принципу осуществляется за счет включения-выключения подачи воздуха в аэрационную систему. Регулирование по пространственному принципу обеспечивается за счет разделения объема биореактора на зоны с аэрацией и без аэрации. Существует также технология симультанной нитри-денитрификации.

Необходимый баланс процесса нитри-денитрификации обеспечивается в самих хлопках активного ила, в центре которых – бактерии денитрификаторы, а на периферии – бактерии-нитрификаторы. Процесс обеспечивается при поддержании в емкости низкой концентрации кислорода – 0,5–0,7 мг/л.

В целях экономии энергозатрат в технологии нитри-денитрификации применяется система с круговым движением воды, так называемая «карусель». На рис. 10.3 и 10.4 приведены две конфигурации реконструкции, применяемые в ОАО «Мосводоканал»: «карусель» и двух-коридорная система.

В двух-коридорной системе поддержание ила во взвешенном состоянии в неаэрируемой зоне обеспечивается за счет мешалок, устанавливаемых, как правило, у стены коридора. В «карусели» поддержание ила во взвешенном состоянии также обеспечивается мешалками. Мешалки устанавливаются непосредственно в круговой поток и закрепляются к мостам, которые устанавливаются поперек потока.

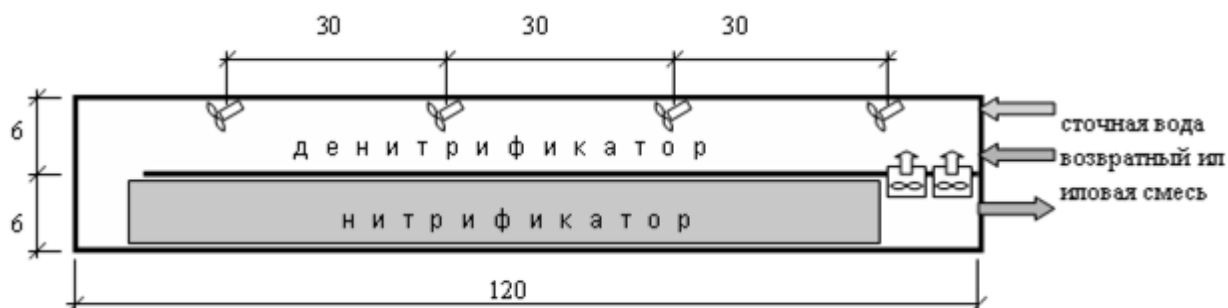


Рис. 10.3. Двухкоридорная система нитри-денитрификации

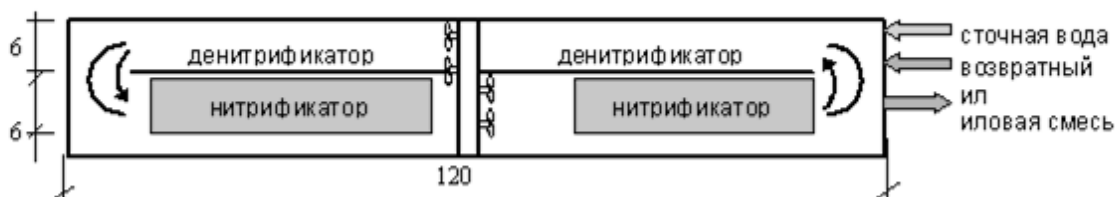


Рис. 10.4. Карусельная система нитри-денитрификации

Из примера видно, что применение систем с круговым движением

потока («карусель») обеспечивает экономию электроэнергии примерно в 3 раза. Недостатком «карусели» является то, что в случае выхода из строя мешалок происходит залегание ила. Если необходимую скорость потока в карусели не удастся восстановить в течение нескольких суток, то слежавшийся на дне ил сложно поднять. В результате происходит загнивание ила и всплытие его в виде крупных конгломератов. Установка резервных мешалок позволяет обеспечить стабильную и надежную работу «карусели». Резервные мешалки могут быть установлены на дополнительном мосту, либо находиться на складе.

В мировой практике биологической очистки как коммунальных, так и промышленных азотсодержащих сточных вод широкое применение нашли биологические реакторы (аэротенки) периодического действия (англ. SBR – Sequencing Batch Reactor). Очистка сточных вод по SBR-технологии осуществляется по циклам и является одной из альтернатив общепринятым реакторам проточного типа (аэротенкам). В настоящее время технология реакторов периодического действия активно применяется реконструкции очистных сооружений.

Впервые SBR-технология была использована для исследования биологической очистки сточных вод в Англии в 1914. В последующие годы по данной технологии в Англии и США были построены несколько городских очистных сооружений, но уже к 1920 году SBR-технология была заменена и циклические реакторы перестроили в реакторы проточного типа. Причина отказа от SBR была связана с рядом технических проблем, возникших из-за отсутствия возможности автоматизации процессов и используемой на тот момент механической аэрацией.

В течение следующих трёх десятилетий SBR-технология находила только редкое применение и использовалась исключительно для очистки производственных стоков.

С необходимостью удаления биогенных элементов, в 90х годах SBR был

усовершенствован с помощью устройства анаэробной фазы, предназначенной для биологического удаления фосфора. На данный момент ведутся исследования SBR с гранулированным активным илом (англ. GSBF – Granula Sequencing Biofilm Batch Reactor), а также исследования реактора циклического наполнения с прикреплённым активным илом (англ. SBBF – Sequencing Biofilm Batch Reactor).

Принцип работы SBR основан на циклической смене процессов очистки сточных вод, происходящей в одном реакторе. Каждый цикл состоит из определённых фаз, продолжительность и поочерёдность которых задаётся в зависимости от необходимого эффекта биологической очистки. На рисунке 10.5 приведена схема одного типичного SBR-цикла.

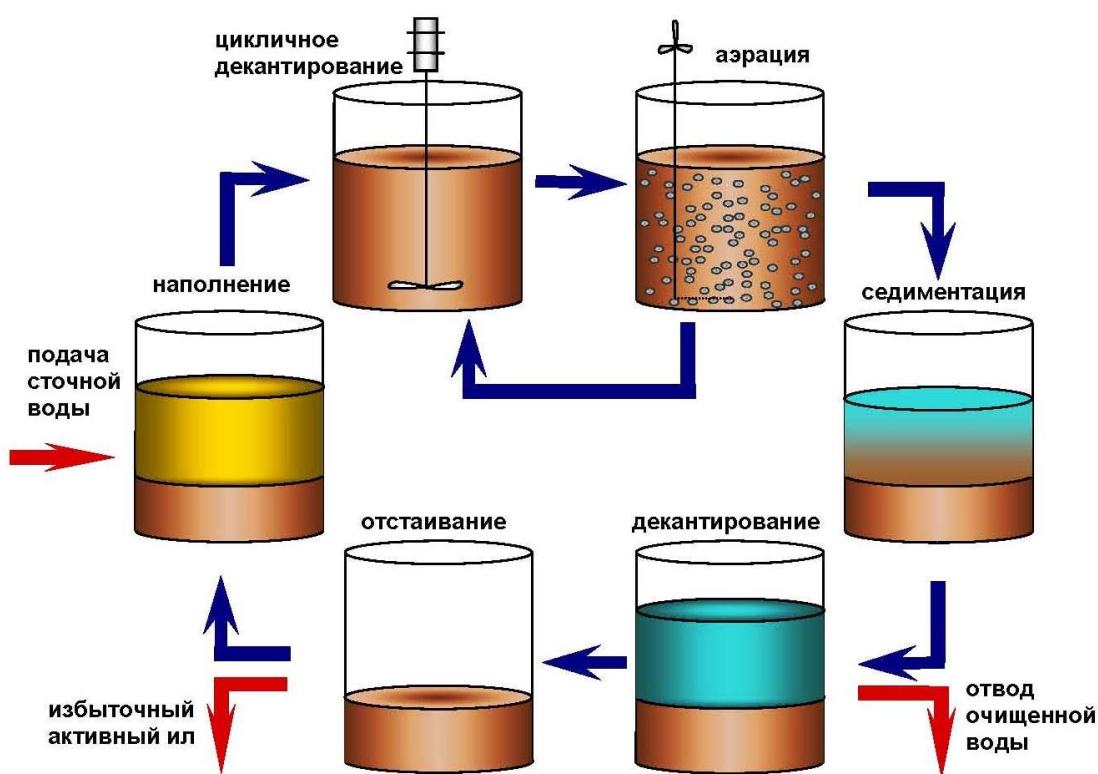


Рис.10.5. Схема процессов очистки в течение одного цикла SBR.

SBR-цикл состоит из следующих фаз:

Фаза наполнения: Во время данной фазы производится подача сточной воды и аккумуляция субстрата в реакторе. Подачу сточной воды возможно осуществлять по нескольким схемам: «быстрое наполнение» – при

отключении подачи до начала последующей фазы перемешивания, «медленное наполнение» – подача воды также осуществляется в течении фаз перемешивания и аэрации, так называемой реакционной фазы.

Фаза перемешивания: Вследствие смешения сточной воды с активным илом происходит процесс денитрификации.

Фаза аэрации: При помощи аэрации производится насыщение смеси активного ила растворённым кислородом (рекомендуемая концентрация O_2 2-3 мг/л), при благоприятных условиях (рН, температура и т.д.) автотрофными бактериями осуществляется процесс нитрификации

Фаза седиментации: при отключении аэрации и перемешивания начинается седиментация активного ила. Скорость и продолжительность процесса седиментации зависят от величины илового индекса.

Фаза декантирования: по истечении установленного времени седиментации активного ила осуществляется отвод очищенной воды из реактора.

Фаза отстаивания: для синхронизации работы нескольких реакторов, а также поддержания необходимой пропускной способности, целесообразно предусматривать фазу отстаивания. Во время данной фазы возможен отвод избыточного активного ила из системы (отвод избыточного ила возможно осуществлять в течение других фаз цикла).

Основное преимущество SBR заключается в том, что все процессы биологической очистки (окисление органических и биогенных веществ, а также седиментация) осуществляются в одном реакторе, что позволяет регулировать продолжительность и последовательность фаз очистки в зависимости от концентраций поступающих на очистку сточных вод при использовании автоматизированных систем управления.

В технологической схеме с двумя и более реакторами во время низких нагрузок возможно отключение одного из реакторов. При этом активность ила отключённого реактора сохраняется при условии постоянной его аэрации

(эффект регенерации активного ила).

Следующим преимуществом является обеспечение в SBR условий абсолютного перемешивания, которых из-за недостаточной аэрационной диффузии невозможно достигнуть в реакторе проточного типа.

Процесс седиментации активного ила является причиной многих проблем на очистных сооружениях, предназначенных для удаления биогенных элементов. В SBR процесс седиментации осуществляется в идеальных гидравлических условиях, так как во время осаждения, а также декантирования очищенной воды отсутствует приток сточной воды и вызванная при этом турбуленция. При повышении илового индекса существует возможность продления фазы седиментации и предотвращения выноса активного ила из системы.

Простота конструкции SBR позволяет реализовать выпуск реактора в виде стандартных модулей, что ускоряет процесс расширения очистных сооружений без больших финансовых затрат.

При всех перечисленных преимуществах стоит отметить, что эффективность работы SBR в большой степени зависит от надёжности автоматических систем управления.

Увеличение объёма притока сточных вод в реактор проточного типа ведёт к одновременному повышению объёма сброса. Для регулирования расхода сточных вод при SBR-технологии необходимо предусматривать усреднители или регулирующие ёмкости.

К недостаткам также относится сложная система аэрации, эксплуатируемая в циклическом режиме и требующая подачи количества кислорода в зависимости от концентрации субстрата в реакторе.

Физико-химические методы удаления азота. Хлорирование активным хлором. При добавлении хлора к воде образуются хлорноватистая и соляная кислоты. Аммиак реагирует с хлорноватистой кислотой, образуя хлорамины. Прибавление активного хлора превращает хлорамины в закись азота —

нерастворимый газ.

Одним из методов физико-химического удаления азота из сточных вод является хлорирование. Весовые отношения хлора к азоту аммиака, требуемые для хлорирования сточных вод до точки перегиба, колеблются от 8:1 до 10:1; меньшее значение применимо для сточных вод, прошедших обширную предварительную обработку. Хлорирование при pH в диапазоне 6,5–7,5 может дать 95%-ное удаление аммиака при первоначальных концентрациях азота аммиака 8–15 мг/л, содержание остаточных треххлористых азотистых соединений никогда не превышает 0,5 мг/л.

Метод обратного осмоса. Применение полупроницаемых мембран, в частности целлюлозоацетатных, позволяет достигать эффекта очистки от азотсодержащих соединений до 98,5%.

Метод окисления озоном. Применение озонирования целесообразно лишь в случаях перехода аммонийного азота в нитратную форму. Аммиак полностью окисляется в нитрат, в результате устраняется расход кислорода на окисление азота. В сточных водах протекает реакция первого порядка относительно концентрации аммиака, и скорость протекания реакции повышается с увеличением величины pH выше диапазона 7–9 и с ростом парциального давления озона. При этом эффективного удаления аммиака можно достичь только при поддержании щелочной среды.

Методы удаления фосфора. Фосфаты удаляются химическими, физико-химическими и биологическими (за счет модификации биологического процесса включения фосфора в клеточное вещество) методами либо биохимическим путем.

Физико-химические методы.

Адсорбционный метод. Фосфор поглощается поверхностью сорбента. Сорбент может быть приготовлен из гранулированной окиси алюминия, активированной окисью алюминия и сульфата алюминия, гидратированным диоксидом титана, активированными оксидами 3-й и 4-й групп металлов

периодической системы элементов, нанесенными на волокнистый материал. Обнаружена высокая адсорбционная способность доломита по отношению к примесям соединений фосфора.

Химический метод. При использовании химических методов обработки сточных вод ионы реагента взаимодействуют с растворимыми солями ортофосфорной кислоты, вследствие чего происходит образование мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата. В то же время химический реагент реагирует с щелочами, содержащимися в воде, образуя осадок из крупных хлопьев. Этот осадок вызывает коагуляцию мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата и взвешенных веществ, а также адсорбирует некоторую часть органических соединений, содержащих фосфор, далее этот осадок выводится из системы. В качестве реагентов используют соли двух- и трёхвалентных металлов. В практике очистки сточных вод широко применяются такие коагулянты, как соли алюминия и железа, реже - известь.

Удаление фосфора химическим и физико-химическим способами в настоящее время ограничено. Эти методы имеют ряд недостатков: высокая стоимость реагентов, необходимых для применения этих методов; вторичные загрязнения, образующиеся после применения коагулянта.

Биологические методы. На современном этапе наибольшее распространение получает биологический метод удаления фосфора. При правильном проведении процесса возможно эффективное изъятие фосфатов из сточной жидкости. Однако в большинстве случаев не удается добиться стабильного удаления фосфатов из сточной жидкости до нормативных требований ПДК водоемов рыбохозяйственного значения.

Основным методом биологического изъятия фосфора является метод с анаэробной обработкой возвратного рециркулирующего активного ила (рис. 10.6.), применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью $\approx 90\%$. В данной системе удаление фосфора происходит с избыточным илом и иловой водой, образующейся в сооружении для

анаэробной обработки ила.

К настоящему времени в зарубежной практике разработан целый ряд технологий биологической очистки от фосфора: технология «Phostrip», A/O (Anaerobic–Oxic), EASC (Extended Anaerobic Sludge Contact process), технология MUCT.

Основным методом биологического изъятия фосфора является метод с анаэробной обработкой возвратного рециркулирующего активного ила (рис. 8.15), применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью $\approx 90\%$. В данной системе удаление фосфора происходит с избыточным илом и иловой водой, образующейся в сооружении для анаэробной обработки ила.

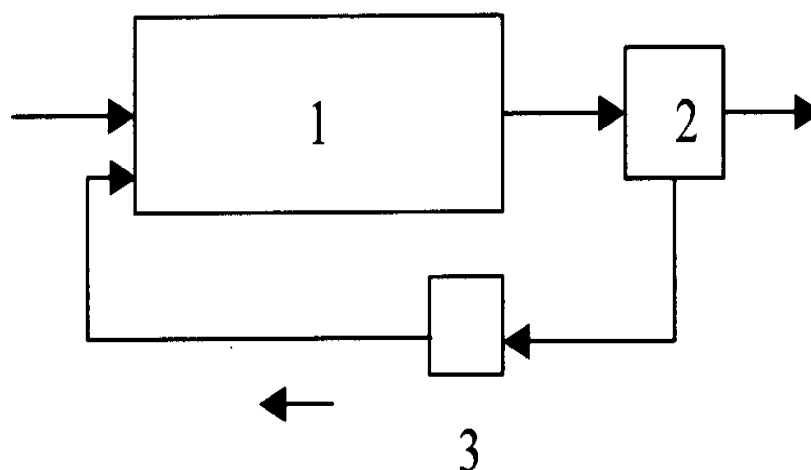


Рис. 10.6. Метод биологического изъятия фосфора: 1 – аэротенк; 2 – отстойник; 3 – сооружения для анаэробной обработки

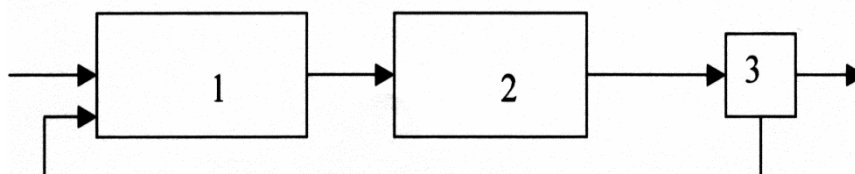


Рис.10.7. Метод биологического изъятия фосфора A/O (Anaerobic–Oxic): 1 – анаэробная зона; 2 – аэробная зона; 3 – вторичный отстойник

В технологии A/O (рис.10.7) эффект изъятия соединений фосфора

достигает $\approx 70\%$. При использовании такой схемы поочерёдной аэробной и анаэробной обработке подвергается смесь сточной жидкости и активного ила, а фосфор из системы выводится с избыточным илом.

В технологии Phoredox (рис. 10.8) активный ил из вторичного отстойника направляется в анаэробную зону, а иловая смесь из аэробной зоны, также как и в предыдущей схеме, возвращается в первую аноксидную.

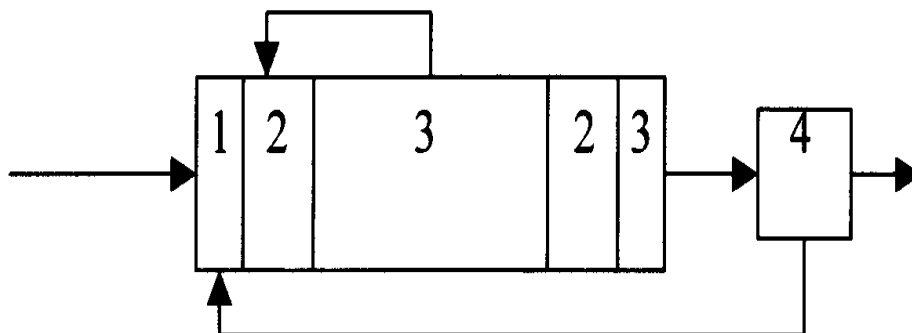


Рис.10.8. Метод биологического изъятия фосфора Phoredox: 1 – анаэробная зона; 2 – аноксидная зона; 3 – аэробная зона; 4 - вторичный отстойник

В настоящее время на практике применяются различные схемы, сочетающие в себе биологический процесс и химическое осаждение. Такое совмещение процессов позволяет добиться более высокого качества очищенной воды, чем при применении одного из них. По мере того как совершенствуется процесс биохимической очистки, совершенствуются и реагенты, применяемые для этого процесса. Наиболее перспективными являются разработки новых реагентов, состоящих из отходов производств (осадков водопроводных станций в качестве реагента, экстрактов золы бурого угля, отходы производства железа).

Технологические схемы биологической очистки сточных вод с совместным удалением биогенных элементов.

Для совместного биологического удаления азота и фосфора из бытовых сточных вод в основном используется метод очистки свободноплавающим активным илом.

Основная сложность совместного или одновременного удаления соединений азота и фосфора из сточных вод состоит в том, что для их

изъятия требуются разные условия. Так, основным условием проведения процессов нитрификации и денитрификации является наличие активного ила, возраст которого составляет не менее 20 суток. Удаление же соединений фосфора оптимального при небольшом возрасте активного ила.

В Европе исследователи развивали одноиловую систему, в которой все биохимические реакции происходят одновременно. Одноиловая система характеризуется чередующимися аноксидно-аэробными зонами. По их мнению, биологическое удаление фосфора определяется способностью микроорганизмов активного ила удалять больше фосфора, чем им нужно для собственного метаболического процесса.

В 60-х и начале 70-х годов прошлого века были определены сущность и механизмы биологического удаления фосфора. Большинство исследователей уделяли значительное внимание влиянию интенсивности аэрации в биореакторах и степени аккумуляции фосфора активным илом в режиме работы реактора вытеснителя, а не идеального смесителя.

В 1975 году было установлено, что группа микроорганизмов *Acinetobacter ssp.*, способна аккумулировать в себе больше фосфатов, чем им нужно для собственных клеток, в присутствии короткоцепочечных летучих жирных кислот (например, Acetat).

Исследователи развивали гипотезу и выяснили, что анаэробная зона служит для размножения полуфосфатаккумулирующих микроорганизмов, что является одним из важнейших положений для развития биореакторов для совместного удаления биогенных элементов.

В 70-х годах прошлого века в Южной Африке были построены несколько очистных сооружений по удалению биогенных элементов. Все очистные сооружения для совместного удаления фосфора и азота были одноиловыми, которые представляют собой чередующие анаэробно-аноксидно-аэробные зоны, в которых создаются условия для нитрификации, денитрификации и удаления фосфора (дефосфотации). На рис. 10.9 и 10.10

приведены технологические схемы с различными модификациями одноиловой системы (Phorendox, Three-stage Bardenpho и Five-stage Bardenpho process).

В последние два десятилетия в мировой практике достигнуты существенные успехи в области удаления азота и фосфора из сточных вод, основные схемы и характеристики которых представлены в таблице 8.1. Однако, аппаратное оформление процессов несовершенно, для всех технологических схем биологического удаления азота и фосфора требуется организация анаэробных и аноксидных зон. Следует отметить, что все виды биологических процессов проходят при условии низкой нагрузки по БПК менее 0,4 г. БПК₅/г. сут.

Установлено, что одноиловые схемы биологической очистки могут обеспечивать эффективную очистку от азота и фосфора только при определенном соотношении загрязнений в составе сточных вод.

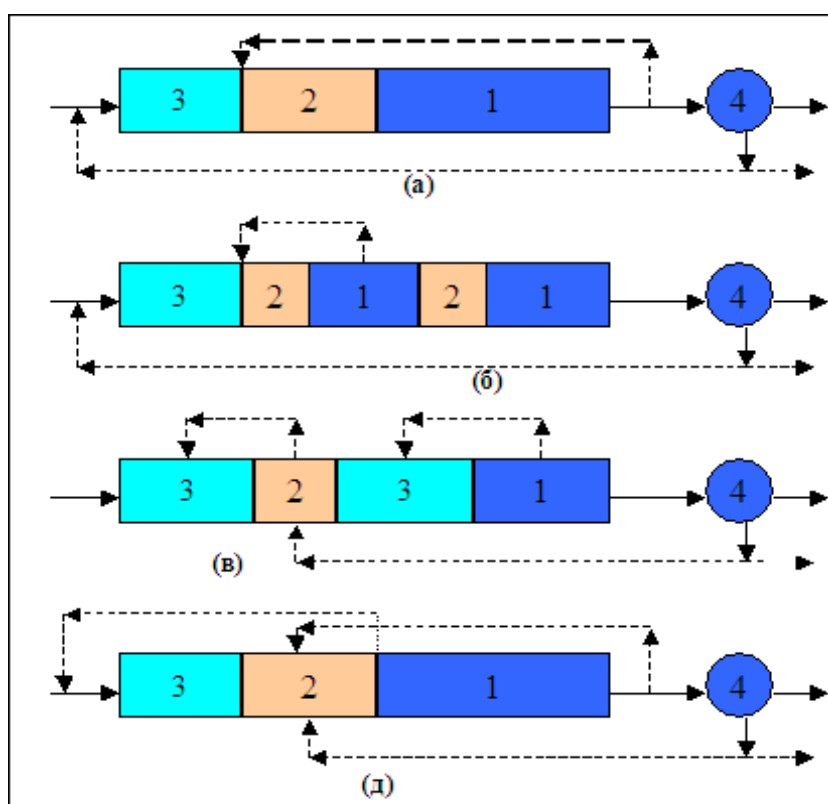


Рис. 10.9. Схемы совместного биологического удаления азота и фосфора. (а) A2/O процесс, (б) 5-и ступенчатый Bardenpho, (в) UCT процесс, (д) VIP процесс. 1-Аэробная зона. 2- Аноксидная зона. 3- Анаэробная зона. 4- Отстойник.

Наиболее важным показателем состава сточных вод, является величина отношения ХПК / ТKN (общему азоту). Так, например, при отношении ХПК/ТKN более 14 возможно применение любой схемы биологического удаления биологических элементов, в интервале соотношения 7-14 наиболее эффективно применение одного их вариантов схемы УСТ, при соотношениях менее 7 следует выбирать технологию биологического удаления либо азота, либо фосфора.

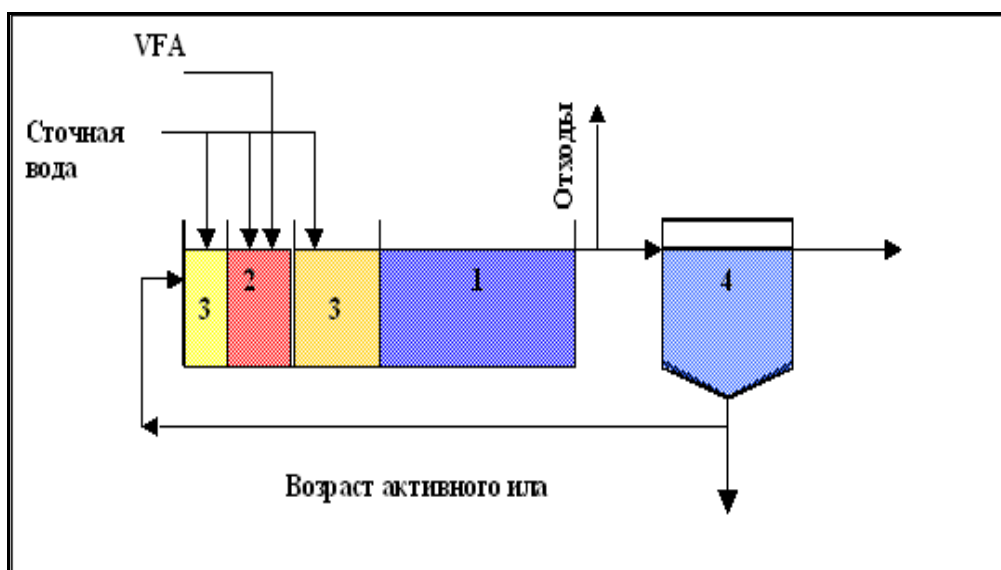


Рис. 10.10. Канадская схема совместного удаления биогенных элементов. 1- аэробная зона, 2- анаэробная, 3- аноксидная, 4-вторичный отстойник. (VFA- ферментация активного ила)

Таблица 10.1

Технологические характеристики основных процессов совместных удалений биогенных элементов из сточных вод.

Параметры	A2/O		Bardenpho		UCT		VIP	
Нагрузка на А.И (г БПК ₅ /г.б в-в. сут)	0,15-0,25		0,1-0,2		0,1-0,2		0,1-0,2	
Возраст ила (сут)	4-27		10-40		10-30		5-10	
Доза ила (г/л)	2-4		2-5		2-5		1,5-3	
Зоны	Час	%	Час	%	Час	%	Час	%
Анаэробная	0,5-1,5	11-18	1-2	8-11	1-2	9-11	1,2	22-25
Аноксидная-1	0,5-1,0	11-15	2-4	17-21	2-4	18-22	1-2	22-25

Параметры	A2/O		Bardenpho		UCT		VIP	
Аэробная-1	3,5-6,0	70-80	4-12	42-52	-	-	2,5-4	50-60
Аноксидная-2	-	-	2-4	17-21	2-4	18-22	-	-
Аэробная-2	-	-	0,5-1	4-6	4-12	44-55	-	-
Общее время (час)	4,5-8,5		9,5-23,0		9,0-22,0		4,5-8	
Возврат ила (% Q)	20 -50		50-100		50-100		50-100	
Внутренний рецикл (% Q)	100-300		400		100-600		200-400	

Тема 11. Физико-химические методы очистки сточных вод

Сточные воды, как термодинамические системы, обладают запасом внутренней энергии (энергия связи молекул и атомов в структуре веществ загрязнений, энергия связи веществ с водой) и внешней (механической, обусловленной движением потока). Этот запас энергии обеспечивает динамическую устойчивость структуры загрязнений. Изменение баланса внутренней и внешней энергий вызывает нарушение устойчивости состояния загрязнений в сточных водах. Так уменьшение кинетической энергии потока сточных вод приводит к выделению оседающих и всплывающих загрязнений, что успешно реализуется методами механической очистки. В процессах биохимической очистки сточных вод используется часть внутренней энергии, иммобилизованной биоценозами.

Структура загрязнений сточных вод, обусловленная внутренней энергией, не доступной для биоценозов, не может быть разрушена биологическими и механическими методами, использующими собственный запас энергии системы. Сточные воды с такой структурой загрязнений относятся к категориям трудноокисляемых или стабильных. Как правило, это сточные воды промышленных производств или воды, уже прошедшие предварительную очистку. Удаление загрязнений из сточных вод этой категории возможно только при нарушении их стабильности путем

использования внешней энергии в той или иной форме.

Эффективным энергетическим воздействием на структуру загрязнений сточных вод обладают физико-химические процессы.

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые физико-химическими законами, называются *физико-химическими*.

Наличие источника внешней энергии является обязательным условием применения физико-химических процессов очистки сточных вод. Для их осуществления используют разнообразные виды энергии: электрическую, химическую, тепловую, механическую и другие.

Рассматривая сточные воды как термодинамические системы, обладающие запасом энергии, определяющим их текущее состояние, можно принципиально определить область применения физико-химических технологий.

Прежде всего им следует отдать предпочтение, когда очистка сточных вод невозможна или недостаточна при использовании собственного запаса энергии системы. Поэтому наибольшее распространение они получили в системах очистки производственных сточных вод. На городских очистных сооружениях физико-химические методы применяют, как правило, на стадии доочистки сточных вод.

В практике очистки сточных вод часто встречаются ситуации, когда биологические очистные сооружения не могут обеспечить эффективную работу, например, вследствие длительных перерывов в поступлении сточных вод, нестабильности энергоснабжения, присутствия в сточных водах соединений, токсичных для биоценозов, и ряд других. Особенность сооружений физико-химической очистки сточных вод – быстрота ввода в режим эксплуатации, что важно при решении задач жизнеобеспечения в условиях чрезвычайных ситуаций.

Очистные сооружения, принцип действия которых основан на физико-

химических процессах, можно определить как *разделительные* и *деструкторы*. На сооружениях первой группы загрязнения извлекаются из воды в виде концентрированных растворов, шламов или осадков. В сооружениях – деструкторах загрязнения разрушаются непосредственно в обрабатываемой воде и продукты деструкции остаются там же. Однако при этом не образуются вторичные отходы очистки сточных вод.

В схемах станций очистки сточных вод населенных мест получили распространение такие методы, как флотация, коагулирование, сорбция, озонирование, которые используют на разных этапах обработки воды. Целесообразность включения их в состав очистных сооружений должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Флотация – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов (флотокомплексов) загрязнений с диспергированной газовой фазой и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама).

Традиционным признаком классификации флотационных сооружений принят способ получения диспергированной газовой фазы (ДГФ). Все существующие способы можно разделить на следующие группы: дробление газовой фазы (диспергирование) в толще жидкости; непосредственное выделение из обрабатываемой воды.

В соответствии с этим составлена классификация флотационных сооружений (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Классификация флотационных сооружений по способу получения ДГФ

Барботажное получение ДГФ. Одним из наиболее распространенных методов получения ДГФ в очистных сооружениях является *барботаж*.

Диспергируемый газ проходит через поры (отверстия) фильтросного устройства, погруженного в воду, и образует поток газовых пузырьков. Размер образующихся пузырьков определяется условиями отрыва их от кромки пор.

Для пузырьков сферической формы минимальная величина их диаметров может быть найдена по формуле:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{6d_o\sigma}{g\Delta\rho}} \quad (11.1)$$

где d_o – диаметр пор (отверстий), через которые поступает газ;

σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз "вода-газ";

g – ускорение свободного падения;

$\Delta\rho$ – разность плотностей жидкости и газа.

Уравнение (11.1) справедливо для невысокой скорости образования пузырьков и не зависит от расхода газа. С увеличением расхода газа число пузырьков возрастает до тех пор, пока не будет достигнут критический расход газа. При расходе газа выше критического последовательно отрывающиеся от отверстия пузырьки соприкасаются друг с другом и поднимаются в жидкости в виде цепочки пузырьков.

При установившемся гидродинамическом режиме скорость подъема пузырьков определяется по условию равенства подъемной силы и силы сопротивления среды, что для ламинарного режима движения пузырьков приводит к известному закону Стокса:

$$V_n = \frac{d_n^2 \cdot g \cdot \Delta\rho}{18\mu_{\text{ж}}} \quad (11.2)$$

Получение ДГФ механическим диспергированием. Для механического диспергирования газовой фазы используют различного вида устройства, движущиеся части которых попеременно то погружаются в жидкость, то выходят из нее. Однако в чистом виде метод механического

диспергирования газовой фазы применяют редко. Чаще всего комбинируют истечение газов в виде пузырей с последующим их дополнительным диспергированием турбинкой. При этом газовая фаза образуется либо при истечении газов из барботера, расположенного ниже мешалки, либо газ подают прямо в мешалку, снабженную отверстиями.

В процессах механического диспергирования газовой фазы энергия тратится на ее дробление и на преодоление сил гидродинамического сопротивления жидкости. Обычно затраты энергии на диспергирование газовой фазы составляют 0,2—2% от общей затрачиваемой в процессе энергии. Механизм процесса диспергирования пузырьков при механических воздействиях достаточно сложен. Он включает стадии деформирования пузырьков под влиянием касательных или растягивающих напряжений в вытянутые эллипсоиды и последующего их дробления на более мелкие.

Размер частиц газовой дисперсии зависит от интенсивности перемешивания, продолжительности и температуры. Уменьшение межфазного поверхностного натяжения также способствует увеличению дисперсности эмульсии, при этом уменьшается удельная работа диспергирования.

Количественные закономерности получения ДГФ механическими методами в настоящее время изучены недостаточно.

Получение ДГФ из пересыщенных газовых растворов. В компрессионных и вакуумных флотационных установках ДГФ получают из пересыщенных растворов газа. Пересыщенный раствор газа в воде может быть получен или предварительным насыщением, или в результате протекания химических, электрохимических, микробиологических и других процессов, сопровождающихся образованием газообразных продуктов реакции.

Выделение газовой фазы происходит на границах раздела фаз и, частично, в объеме жидкости. Пузырьки, образующиеся в объеме жидкости,

имеют меньший размер, так как период нахождения их в воде вследствие процесса седиментации оказывается меньше. Уменьшение среднего размера пузырьков, полученных из пересыщенных газовых растворов, происходит при воздействии вибрации, ультразвука, понижении давления в сооружении.

По сравнению с другими методами, получение ДГФ из пересыщенных газовых растворов обеспечивает наибольшую дисперсность газовой фазы в воде.

Формирование ДГФ при протекании реакций, сопровождающихся выделением газов. При протекании в очищаемой воде химических, биохимических и электрохимических реакций, сопровождающихся образованием газов, получают пересыщенные газовые растворы, из которых выделяются пузырьки. Существенное отличие этого метода получения ДГФ от получения ее из пересыщенных газовых растворов - другой характер изменения пересыщения во времени. В начальный период реакции требуется некоторое время до возникновения состояния пересыщения жидкой фазы газовым компонентом. Далее характер пересыщения может быть различным.

При проведении реакции в жидкой фазе степень пересыщения быстро увеличивается, достигает максимума, а затем по мере образования пузырьков и их роста снова уменьшается. Примером этого может служить взаимодействие растворов карбонатов с растворами кислот при их быстром смешении.

Если в реакции используют твердые исходные продукты, то газ выделяется преимущественно на их поверхности. Реакции с использованием твердых веществ являются саморегулирующимися, так как возникающая газовая фаза уменьшает доступ жидкого реагента в зону реакции до установления состояния подвижного равновесия.

Пузырьки газов, образующиеся в электрохимических процессах, полидисперсны по размерам, а гistogramмы получающихся газовых

дисперсий изменяются во времени. Скорость газовыделения пропорциональна плотности тока и электрохимическому выходу реакции. Размер образующихся пузырьков зависит от поверхностных свойств границы раздела "газ – жидкость – твердое тело", значений электрохимического потенциала и перенапряжения.

Влияние величины pH на размер пузырьков обусловлено процессами концентрационной деполяризации. При уменьшении концентрации ионов водорода у поверхности катода концентрация электролита в двойном электрическом слое повышается, что вызывает уменьшение краевых углов смачивания и размеров пузырьков. Присутствие в сточных водах ПАВ, ионов тяжелых металлов и других примесей изменяет процессы газообразования, изменяя величину перенапряжения, и также снижает краевой угол смачивания.

Размеры пузырьков образующейся газовой дисперсии непостоянны по высоте флотаторов при любом способе их получения. Кроме условий образования, дисперсный состав пузырьков существенно зависит от гидродинамического режима флотационного сооружения, который оказывает непосредственное влияние на процессы коалесценции и сепарации ДГФ.

Эффективность флотационной очистки сточных вод и ее технико-экономические показатели в значительной мере зависят от правильности выбора вида флотационного сооружения. Определяющим критерием при этом должны являться возможность и условия формирования в очищаемой воде устойчивого флотокомплекса. Элементарный флотокомплекс может быть трех типов (рис. 11.2).

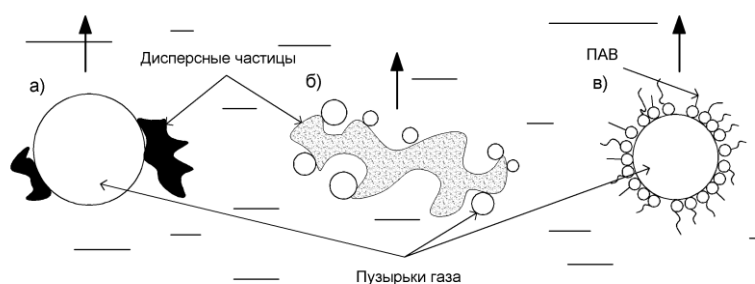


Рис. 11.2. Основные типы элементарных флотокомплексов: а – газово-дисперсный; б - дисперсно-газовый; в – газово-молекулярный

Первый тип образуется в результате столкновений дисперсных частиц загрязнений (твердых или жидких) с движущимися пузырьками воздуха или другого газа. Структура такого флотокомплекса, как правило, состоит из малого числа относительно крупных пузырьков. Условно, этот тип флотокомплекса можно назвать *газово-дисперсным*. Он характерен для флотационных установок с пневматической, гидромеханической или механической системой получения ДГФ.

Второй тип наблюдается при выделении газа из обрабатываемой воды в условиях уменьшения его растворимости. Поскольку вероятность зарождения пузырьков на межфазной границе во много раз больше вероятности их возникновения в объеме чистой воды, дисперсные частицы загрязнений становятся центрами формирования флотокомплексов. В дальнейшем в результате коалесценции газовой фазы он может трансформироваться в первый тип. Однако, при определенных условиях, например, присутствие в воде ПАВ, второй тип флотокомплекса достаточно устойчив. Структурно он определяется как *дисперсно-газовый*. Флотокомплексы этого типа преобладают в компрессионных, вакуумных, электрохимических и других установках с получением ДГФ выделением ее из воды.

Многие органические вещества, входящие в систему загрязнений сточных вод, проявляют сорбционные свойства на границе раздела фаз "вода-газ". Контакт всплывающих пузырьков газа с такими веществами приводит к образованию на их поверхности адсорбционного слоя, формируя третий тип флотокомплексов – *газово-молекулярный*. Наличие этого типа в структуре флотационной пульпы обуславливается главным образом физико-химическими свойствами системы загрязнений и мало зависит от вида флотационного сооружения. Типичным примером является флотокомплекс,

возникающий при контакте пузырьков с молекулами ПАВ.

При гидромеханическом взаимодействии воды, загрязнений и флотокомплексов внутри камеры флотации, наибольшую устойчивость проявляет структура газово-молекулярного флотокомплекса, а наименьшую – газово-дисперсного.

Основные технологические схемы применения флотационных методов очистки сточных вод приведены на рис.11.3. По схеме "а" осуществляют флотационные процессы, в которых используют барботажный, пневмомеханический, электрохимический и другие способы получения ДГФ непосредственно во флотационной камере. Схемы "б" и "в" распространены при компрессионном и вакуумном способах, а схема "г" – при компрессионном и гидромеханическом.

Материальный баланс потоков во флотаторе в общем виде представлен уравнением:

$$C_o \cdot Q_w - C_k \cdot Q_k = C(Q_w - Q_k) \quad (11.3)$$

где Q_w – расход сточных вод, поступающий во флотатор, м³/ч;

Q_k – расход отводимого флотошлама м³/ч;

C_o , C , C_k – концентрация загрязнений в поступающей воде, очищенной и во флотошламе соответственно, г/м³.

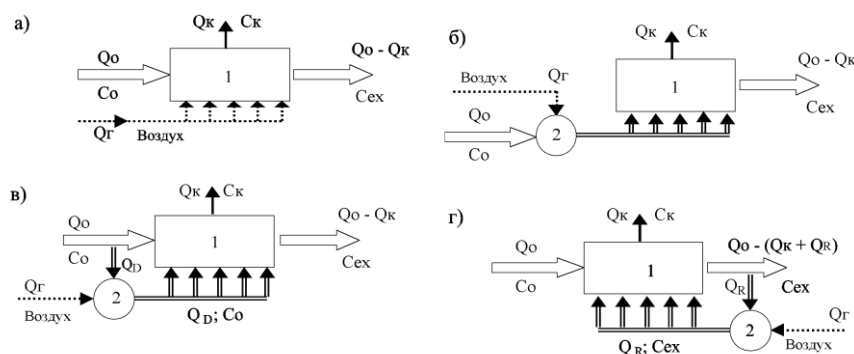


Рис. 11.3. Технологические схемы флотационных установок: 1 - камера флотации; 2 - сатуратор

Принимая показатель фракционирования $E = Q_k / Q_w$, а также учитывая адсорбционный механизм извлечения загрязнений на ДГФ, может быть получено основное уравнение для выражения концентрации загрязнений в

воде при адсорбционно-пузырьковом разделении:

$$C_{\tau} = \frac{1}{1-E} \cdot (C_o - q_{\varphi} \cdot \psi_D \cdot A_{\psi}) \quad (11.4)$$

где C_{τ} – текущая концентрация загрязнений во флотаторе, г/м³;

q_{φ} – удельный расход газа, равный отношению расхода газа к общему расходу очищаемой воды, м³/м³;

Ψ_D – функция, определяющая поверхность ДГФ в единичном объеме диспергированного газа, м²/м³;

A_{ψ} – адсорбция, отнесенная к единице поверхности газовой фазы, г/м².

Уравнение (11.5) непосредственно применимо к описанию процессов флотации по схемам "а" и "б". Баланс материальных потоков в схемах "в" и "г" приводит к следующим выражениям, определяющим концентрацию загрязнений в камере флотации по схеме "в" (см. рис.11.4):

$$C_{\tau} = \frac{1}{1-E} \cdot (C_o - q_{\varphi} \cdot \psi_D \cdot A_{\psi} \cdot D) \quad (11.5)$$

где D – показатель деления потока, определяемый как $D = Q_D / Q_w$; здесь Q_D – расход воды, отделяемый для приготовления водовоздушной смеси, м³/ч.

По схеме "г":

$$C_{\tau} = \frac{1}{1-E} \cdot (C_o - q_{\varphi} \cdot \psi_D \cdot A_{\psi} \cdot R) \quad (11.6)$$

где R – показатель возврата рабочей жидкости, $R = Q_R / Q_w$; здесь Q_R – расход воды, возвращаемый для приготовления водовоздушной смеси, м³/ч.

Текущее содержание загрязнений C_{τ} во флотационной камере зависит от адсорбционного равновесия, количества и удельной поверхности ДГФ. Концентрация загрязнений в воде на выходе из сооружения C_{κ} определяется как результирующая трех материальных потоков загрязнений: поступающих со сточными водами (C_o); возвращаемых с частью очищенной воды (C_{κ}) и адсорбционным потоком ($q_{\varphi} \Psi_D A_{\psi}$), а также гидродинамической обстановкой

внутри флотатора.

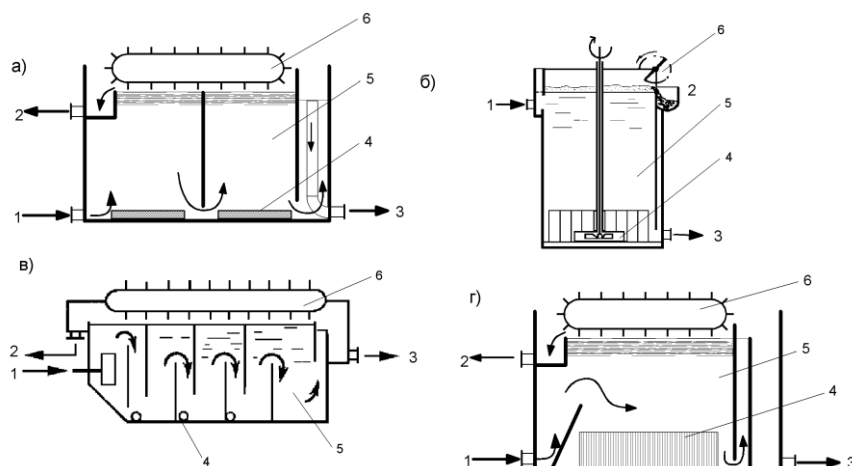


Рис. 11.4. Флотаторы: а - барботажный; б - импеллерный; в - компрессионный; г - электрохимический; 1,3 - подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 - отведение флотошлама; 4 - система получения газовой дисперсии; 5 - камера флотации; 6 - пеносъемное устройство

Выбор типа схемы осуществляют на основании анализа структурно-механических свойств флотокомплекса и необходимой эффективности очистки воды.

Все типы флотационных сооружений содержат ряд общих конструктивных элементов. К ним относятся камера флотации, которая может быть одно- и многосекционной, система распределения подаваемой на очистку воды, система подачи ДГФ, устройства для сбора и удаления флотошлама. Важным элементом конструкции является система выпуска очищенной воды, обеспечивающая постоянство гидравлического уровня в сооружении.

Конструктивные особенности разных типов флотационных сооружений и состав вспомогательного оборудования в значительной мере обусловлены способом получения ДГФ.

Барботажные флотационные сооружения отличаются простотой и относительно малыми расходами энергии (рис. 11.4, а). Для уменьшения отрицательного влияния продольного перемешивания в камере флотации обычно выделяют две и более последовательные секции. Воздух во

флотационную камеру подается через мелкопористые фильтросные пластины, трубы, насадки, уложенные на дне камеры. Размер пор обычно находится в пределах 50-200 мкм, давление воздуха 0,1-0,2 МПа, продолжительность флотации 20-40 мин, расход воздуха определяется экспериментально. Рабочая глубина камеры флотации 1,5-3 м.

Недостатками этого типа сооружений являются значительная интенсивность перемешивания и возможность зарастания пор фильтросных элементов, а также трудность подбора для них мелкопористых материалов, обеспечивающих получение мелких, близких по размерам пузырьков воздуха.

Барботажные флотационные установки применяют при очистке сточных вод, содержащих загрязнения, способные образовывать достаточно прочные флотокомплексы и обладающие устойчивым пенообразованием.

Флотационные установки с механическим диспергированием воздуха имеют круглую или квадратную в плане камеру флотации (рис. 11.4, б). В состав внутреннего оборудования входят воздушная труба, турбинка (импеллер) с валом привода, статор и спрямляющая решетка.

Сточная вода из приемного кармана поступает к вращающемуся импеллеру, который по воздушной трубе подсасывает воздух. Над импеллером расположен неподвижный статор в виде диска с отверстиями для внутренней циркуляции воды. Смесь воды и воздуха выбрасывается импеллером через статор. Спрямляющая решетка, расположенная вокруг статора, способствует более мелкому диспергированию воздуха в воде и уменьшению скорости выхода водо-воздушной смеси в камеру флотации. Пена, содержащая флотируемые частицы, удаляется лопастным пеноснимателем. Обычно импеллерная флотационная установка включает несколько последовательных камер.

Степень диспергирования воздуха зависит от окружной скорости вращения импеллера, которую принимают равной 10-15 м/с. Диаметр

импеллера должен быть 200-750 мм. Зона, обслуживаемая импеллером, не должна превышать размеров квадрата со стороной $6d_{\text{и}}$, (где $d_{\text{и}}$ — диаметр импеллера). Высота флотационной камеры принимается равной 1,5-3 м, продолжительность флотации 20-30 мин.

Применение импеллерных установок целесообразно при очистке сточных вод с высокой концентрацией дисперсных загрязнений (более 2-3 г/л) преимущественно таких, как нефть, нефтепродукты, жиры.

Недостатком импеллерных флотаторов является относительно высокая обводненность пены. Особенно существенным становится этот недостаток в тех случаях, когда основной целью флотации является извлечение растворенных ПАВ, так как большой объем воды в пене заставляет создавать дополнительные установки для ее обработки, что удорожает очистку в целом.

Флотационные сооружения с использованием компрессионного метода получения ДГФ получили достаточно широкое распространение в составе малых и средних очистных комплексов (рис. 11.4, в). Напорная флотация по сравнению с вакуумной используется чаще, поскольку позволяет регулировать степень пресыщения в соответствии с требуемой эффективностью очистки сточных вод при начальной концентрации загрязнений до 4-5 г/л и более. Флотационные камеры компрессионных флотаторов в зависимости от структуры загрязнений сточных вод могут быть дополнены совмещенной зоной отстаивания.

При напорной флотации сточные воды под давлением 0,3-0,5 МПа подаются в напорный бак (сатуратор). Туда же компрессором подают воздух. Возможна также подача воздуха через водовоздушный эжектор, установленный на байпасной линии насоса. Количество подаваемого воздуха зависит от начальной и конечной концентрации загрязняющих веществ, а также их свойств. Насыщенная воздухом вода из сатуратора подается во флотационную камеру, где выделившиеся из сточной воды пузырьки воздуха

всплывают вместе с частицами взвешенных веществ. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами для сгребания пены в пеносборник.

При проектировании флотаторов для обработки сточных вод с расходом до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ принимаются прямоугольные в плане камеры глубиной 1-1,5 м, при большей производительности — радиальные флотаторы глубиной не более 3 м.

Компрессионные флотаторы применяют для очистки сточных вод от нефти, нефтепродуктов, масел, жиров, ПАВ, волокнистых веществ, а также для отделения скоагулированных загрязнений.

К недостаткам компрессионных флотаторов относятся ограниченность удельного расхода воздуха и сложность эксплуатации вспомогательного оборудования для приготовления водовоздушной смеси.

Электрофлотаторы выполняют круглыми или прямоугольными в плане глубиной 1-2 м (рис. 11.4, г). В состав внутреннего оборудования входят блоки электродов, конструкции которых весьма разнообразны. Различают плоскостные, коаксиальные, сетчатые и объемные блоки. Дополнительное оборудование включает системы энергопитания, контроля состава воздуха и управления системой вентиляции.

Электрофлотационные установки универсальны по применению. Производительность флотаторов ограничивается технико-экономической целесообразностью.

Основными недостатками электрофлотаторов являются ограниченность срока службы или высокая стоимость электродов, а также необходимость устройства систем обеспечения взрыво- и химической безопасности.

Проектирование и расчет сооружений флотационной очистки сточных вод. Проектирование флотаторов включает расчет системы диспергирования воздуха или газа и определение размеров сооружения.

Для определения требуемого расхода газа Q_G , $\text{м}^3/\text{ч}$, рекомендуется использовать удельный расход газовой фазы на единицу массы отделяемых

загрязнений q_{Γ} , м³/г:

$$Q_{\Gamma} = q_{\Gamma}(C_{en} - C_{ex}) \cdot Q_w \quad (11.7)$$

где C_{en} , C_{ex} – содержание загрязнений в поступающей и выходящей из сооружения воде, г/м³;

Q_w – расчетный расход воды, м³/ч.

Количество фильтросных элементов системы диспергирования воздуха N , шт, барботажного флотатора определяют по формуле:

$$N_{\text{э}} = \frac{Q_{\Gamma}}{v f_{\text{э}}} \quad (11.8)$$

где v – скорость потока газа через поверхность фильтроса, м³/(м² ч), принимается по техническим характеристикам конкретных изделий;

$f_{\text{э}}$ – площадь рабочей поверхности фильтросного элемента, м².

Системы приготовления и распределения водовоздушной смеси компрессионного флотатора зависят от схемы его работы:

а) *прямоточная схема и схема с делением потока*

Необходимое содержание воздуха в водовоздушной смеси, м³/м³:

$$C_{\text{возд}} = \frac{Q_{\Gamma}}{k D Q_w} \quad (11.9)$$

где k – коэффициент использования воздуха;

D – показатель деления потока, для прямоточной схемы $D=1$.

По справочным данным определяют растворимость воздуха $C_{\text{теор}}$ при заданных значениях давления и температуры при условии: $C_{\text{теор}} \geq C_{\text{возд}}$.

Если это условие не выполняется при допустимых значениях температуры и давления, то следует применить схему флотации с возвратом рабочей жидкости.

б) *схема с возвратом рабочей жидкости*

Расход циркулирующей воды Q_c , м³/ч, определяют по формуле:

$$Q_c = \frac{Q_\Gamma}{kC_{\text{теор}}} \quad (11.10)$$

Расход воды во флотаторе, Q_f м³/ч, будет равен:

$$Q_f = Q_w + Q_c \quad (11.11)$$

Вместимость напорного бака (сатуратора) W_c , м³, определяют по периоду контакта водовоздушной смеси t_c , который обычно принимают 3-5 мин.:

$$W_c = \frac{Q_c t_c}{60} \quad (11.12)$$

Расчет системы получения ДГФ в электрофлотаторе ведут по величине силы тока I , А:

$$I = \frac{Q_\Gamma}{\alpha_\Gamma} \quad (11.13)$$

где α_Γ – удельный выход газа, м³/(А·ч).

Эта величина зависит от состава сточных вод, температуры, плотности тока на электродах и других факторов. В конкретных условиях ее принимают по данным научно-исследовательских работ.

Для обеспечения безопасной работы электрофлотационных установок необходимо выполнить расчет системы вентиляции. Для этого отдельно следует рассчитать выход водорода, м³/ч:

$$Q_{H_2} = \frac{0,0224\alpha_{H_2}I}{M_{H_2}} \quad (11.14)$$

здесь α_{H_2} – электрохимический эквивалент водорода, равный 0,0376 г/А·ч;

M_{H_2} – молекулярная масса водорода.

Активную поверхность электродов S_Σ , м², определяют по плотности тока:

$$S_{\text{э}} = \frac{I}{i} \quad (11.15)$$

Плотность тока i , А/м², принимают по данным о составе электролитов в сточных водах и материале электродов.

Геометрические размеры камер флотации должны обеспечить благоприятные гидродинамические условия для отделения флотокомплексов.

Площадь поперечного сечения флотатора определяется исходя из газонаполнения объема воды φ , м³/м³, и средней скорости всплывания ДГФ V_n , м/с:

$$F = \frac{Q_{\Gamma}}{3600\varphi V_n} \quad (11.16)$$

Глубину проточной части камеры флотации H , м, определяют по периоду всплывания флотокомплексов τ , с, на открытую поверхность сооружения:

$$H = U_f \tau \quad (11.17)$$

где U_f – средняя скорость всплывания флотокомплекса, м/с.

Вместимость камеры флотации W_{ϕ} , м³, определяется исходя из принятой глубины и поперечного сечения:

$$W_{\phi} = HF \quad (11.18)$$

Определение основных показателей импеллерных флотационных установок рекомендуется вести в следующей последовательности.

Общую открытую поверхность флотационных камер F , м², определяют по формуле:

$$F = \frac{Q_{\Gamma}}{q_f} \quad (11.14)$$

где q_f - удельный расход потока воздуха через открытую поверхность флотатора, принимаемый 40-50 м³/ч на 1 м² площади поверхности

сооружения.

Расчетная открытая поверхность одной флотационной камеры f_ϕ , м²:

$$f_\phi = (3 \div 6 d_u)^2 \quad (11.20)$$

где d_u — диаметр импеллера, м.

Необходимое число флотационных камер составит:

$$N_\phi = F / f_\phi \quad (11.21)$$

Общую вместимость флотационных камер определяют по формуле (11.8).

Очистка сточных вод коагулированием

Сточные воды населенных мест на 50-60% состоят из загрязнений, относящихся по физико-химическим свойствам к коллоидным. Коллоидные дисперсные частицы не осаждаются и не задерживаются обычными фильтрами. Их размер условно находится в интервале 1 – 100 нм. Они образуют устойчивые системы, по внешним признакам сходные с истинными растворами. Характерной особенностью коллоидных частиц является образование двойного электрического слоя, одна часть которого – неподвижная – соприкасается с поверхностью дисперсной частицы, а другая – диффузная – образована ионным облаком. Разность потенциалов между подвижной и неподвижной частями двойного слоя называется электрокинетическим потенциалом (ζ -потенциалом). Величина ζ -потенциала определяет величину электростатических сил отталкивания частиц, что обеспечивает устойчивость коллоидной системе.

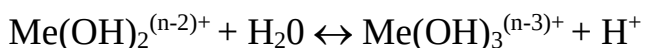
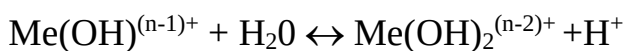
Для повышения эффективности очистки сточных вод от коллоидных загрязнений используют минеральные коагулянты, представляющие гидролизующиеся соли металлов.

В качестве коагулянтов часто используют сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$; алюминат натрия $NaAlO_2$; гидроксохлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$,

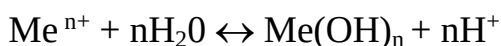
реже - тетраоксосульфаты алюминия-калия и алюминия-аммония. Широкое распространение получил сульфат алюминия. При коагулировании сульфат алюминия взаимодействует с гидрокарбонатами, имеющимися в воде, образуя малорастворимое основание. В последнее время успешно применяют гидроксохлорид алюминия, для которого требуется меньший щелочной резерв воды.

Железосодержащие коагулянты это прежде всего сульфаты двух- и трехвалентного железа: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а также хлорное железо FeCl_3 . Поскольку железо обладает переходной валентностью, перечисленные реагенты могут применяться не только для коагулирования, но и для проведения реакций окисления-восстановления с последующей седиментацией.

Упрощенная схема гидролиза коагулянта может быть представлена следующими стадиями:



.....



Малорастворимые гидроксиды металлов формируют в воде дисперсную систему с противоположным зарядом, что способствует сближению дисперсных частиц загрязнений и коагулянта. Это вызывает нейтрализацию диффузного слоя и приводит к снижению величины ζ -потенциала. Следовательно, коагуляция — это нарушение *агрегативной устойчивости* коллоидной системы вследствие уменьшения ее заряда. В результате коагуляции дисперсная система сточных вод может утратить *седиментационную устойчивость* и стать доступной для эффективного применения разделительных процессов. В этом смысле коагуляция не является методом очистки воды, а лишь подготовительной стадией. Однако,

наряду с явлениями коагуляции, образующиеся флоккулы гидроксидов металлов, обладая развитой поверхностью, сорбируют многие дисперсные загрязнения сточных вод. При этом могут извлекаться вещества, не участвовавшие в текущем процессе коагуляции. Следовательно, метод очистки сточных вод, основанный на использовании коагулянтов, необходимо рассматривать как многостадийный.

Процесс коагуляции, как отмечалось ранее, включает химические стадии - растворение и гидролиз и стадии физико-химических взаимодействий, которые рассматриваются в специальных курсах. С позиций технологии очистки сточных вод, важно учитывать особенности молекулярно-кинетической, градиентной и гравитационной стадий. Причем две последние усложняются процессами флокуляции и сорбции.

Молекулярно-кинетическая стадия коагуляции практически совпадает с периодом распределения раствора коагулянта в объеме смесителя.

Стадия градиентной коагуляции происходит в процессе более медленного и продолжительного перемешивания, осуществляемого в камерах хлопьеобразования. Особенность этой стадии коагуляции заключается в столкновении дисперсных частиц при взаимодействии вихревых потоков, возникающих в перемешиваемом объеме воды. Очевидно, что результаты этой стадии существенно зависят от условий перемешивания в сооружении, которые принято определять средним градиентом скорости G , c^{-1} :

$$G = \left(\frac{E}{\tau W \mu} \right)^{0,5} \quad (11.22)$$

где E – энергия, затрачиваемая на перемешивание, Дж;

τ - продолжительность перемешивания, с;

W – перемешиваемый объем жидкости, m^3 ;

μ - динамическая вязкость жидкости, $Pa \cdot s$.

С увеличением интенсивности смешения сначала наблюдается

увеличение размеров хлопьев вследствие ускорения коагуляции, а затем происходит разрушение рыхлых и образование более компактных агрегатов. Поэтому эффективность очистки воды в значительной мере определяется режимом флокулирования.

Гравитационная стадия коагуляции имеет место в процессах отделения формирующихся хлопьев – отстаивании, флотации и др.

Стадия адсорбции загрязнений сточных вод на свежееобразовавшейся при коагулировании гидрооксидной поверхности удовлетворительно описывается закономерностями статической сорбции.

Для интенсификации процессов отделения скоагулированных загрязнений применяют реагенты, называемые флокулянтами. Флокулянты могут быть как неорганическими, так и органическими веществами. В последнее время для очистки сточных вод широко применяются высокомолекулярные соединения (ВМС). Молекула ВМС в воде может быть электронейтральна или нести заряд. В последнем случае вещество будет называться *полиэлектролитом* (ПЭ). Иногда полиэлектролиты полностью выполняют функции коагулянта и флокулянта.

Механизм действия флокулянтов заключается в образовании ими с дисперсными частицами трехмерных структур, способных к более быстрому формированию флокул, обладающих хорошими седиментационными свойствами. Причина возникновения трехмерных структур заключается в адсорбции молекул флокулянта одновременно на нескольких частицах с образованием между ними полимерных мостиков.

Растворенные органические загрязнения городских сточных вод, на долю которых приходится примерно 20%, характеризуются многообразием компонентов. Изучение состава растворенных органических загрязнений показало, что 62-66% соединений относятся к кислотной группе, 28,4-34,0% — к нейтральной и 8,2-9,6% — к основной.

В процессе коагулирования городских сточных вод солями железа или

алюминия с последующим отстаиванием происходит удаление растворенных органических загрязнений, относящихся к основной группе, на 68-70%, к нейтральной — на 58-62%, кислотной на 10-23%. С учетом адсорбции загрязнений на гидроксидах удаляется 30-40% растворенных органических веществ.

Соединения фосфора, находящиеся в растворенном состоянии, в процессе коагулирования образуют слаборастворимые фосфаты алюминия, железа или кальция и выпадают в осадок. Сложные и нерастворимые формы фосфора удаляются путем сорбции на хлопьях гидроксидов.

Удаление тяжелых металлов происходит в результате сорбции и соосаждения их гидроксидов, полнота которого зависит от pH сточной воды и свойств самих металлов.

Таким образом, в процессе коагулирования и последующего отделения осадков из сточных вод могут быть достаточно полно удалены не только взвешенные вещества, но и органические коллоидные загрязнения, некоторые растворенные загрязнения, в том числе обладающие поверхностно-активными свойствами, соединения фосфора, соли тяжелых металлов и т.д. Коагулирование и отстаивание практически неэффективно в отношении удаления аммонийного азота.

Технологические схемы метода коагулирования. Для эффективного проведения процесса коагуляции необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия протекания гидролиза коагулянтов и образования прочных хлопьев достаточного размера для их быстрого осаждения или хорошей флотуемости. Смешение коагулянта с водой должно происходить так, чтобы сразу образовывалось большое количество мелких агрегатов, которые впоследствии станут центрами кристаллизации гидроксидов, способствующими формированию крупных хлопьев.

В технологии коагулирования используются разные схемы, обеспечивающие наилучшие результаты очистки сточных вод в конкретных

условиях. Распространенные приемы коагулирования - непрерывное, непрерывное с возвратом части осадка, раздельное, периодическое и дробное (рис.11.5).

По схеме "а" раствор коагулянта подают в очищаемую воду непрерывно в начало смесителя. Эффективность коагулирования в этом случае будет сильно зависеть от системы управления процессом, которая должна быстро реагировать на изменение состава и количества поступающей воды.

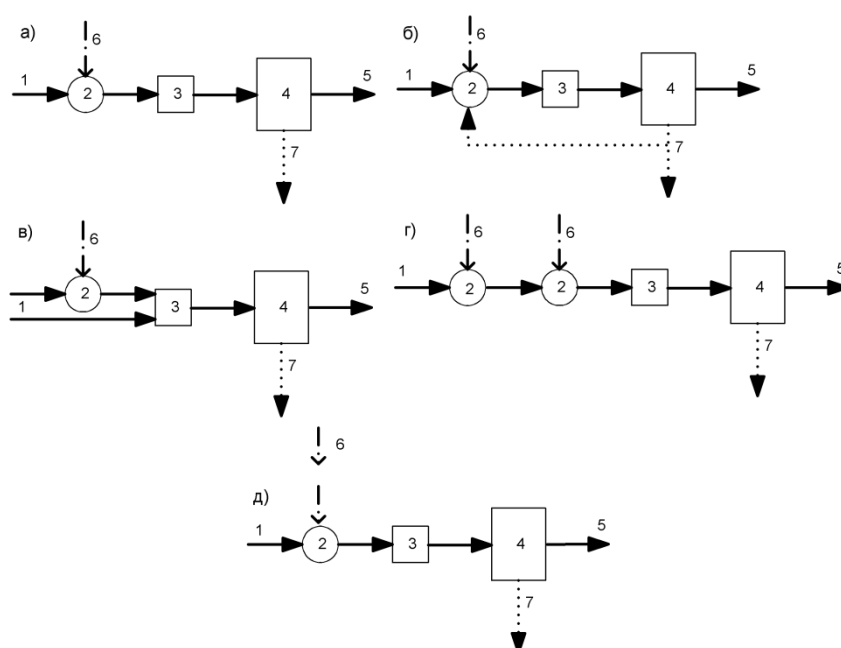


Рис. 11.5. Технологические схемы метода коагулирования: а – непрерывное; б – непрерывное с возвратом части осадка; в – раздельное; г – дробное; д – прерывистое: 1, 5 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – смеситель; 3 – камера флокуляции; 4 – разделительное сооружение; 6 – подача коагулянта; 7 – отвод осадка

Интенсификацию коагулирования достигают возвратом части ранее скоагулированных и отделенных примесей (схема "б"). Рециркуляция способствует ускорению процесса и образованию более плотных хлопьев. Различают рециркуляцию по внутреннему и наружному контурам. При рециркуляции по внутреннему контуру образовавшиеся хлопья возвращают в место подачи коагулянта без вывода их из рециркуляционной емкости. В случае рециркуляции по наружному контуру предусматривается отвод шлама

из камер хлопьеобразования, осветлителей, отстойников, фильтров или флотаторов и возврат в смеситель.

Введение реагентов в относительно небольшой объем очищаемой воды, а затем быстрое смешение с остальной ее частью интенсифицирует и стабилизирует процесс коагулирования (схема "в"). Это происходит вследствие более быстрого начала формирования хлопьев при повышенных концентрациях коагулянта в отделенной части потока сточных вод. В результате такой обработки образуются крупные и плотные хлопья, что повышает степень осветления воды.

Эффективным способом коагулирования является дробное, при котором реагенты добавляют к очищаемой воде несколькими порциями или последовательно вводят различные коагулянты (схема "г"). В этом случае получаются полидисперсные агрегаты коагулянта, а также увеличивается период существования положительно заряженных полиядерных гидроксокомплексов, в результате чего интенсифицируется процесс коагуляции.

Периодическое коагулирование (схема "д") основано на совмещении раздельного и дробного способов. Периоды подачи увеличенных доз коагулянта чередуются с периодами полного прекращения коагулирования. В результате такой обработки происходят колебания рН, что в ряде случаев благоприятно влияет на зарождение центров коагуляции в сточных водах со сложной структурой загрязнений.

Сооружения для коагулирования сточных вод. Коагулянты смешивают с обрабатываемой сточной водой в смесителях. Применяют перегородчатые, дырчатые, шайбовые и вертикальные смесители, а также механические с пропеллерными или лопастными мешалками.

Процесс хлопьеобразования осуществляют в сооружениях смешения при среднем градиенте скорости $G=50-60 \text{ с}^{-1}$. По виду движения потока камеры хлопьеобразования могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а

также с механическим перемешиванием.

Перегородчатые камеры могут быть горизонтальными и вертикальными. В горизонтальной камере сточная вода протекает по нескольким последовательно соединенным коридорам. Перемешивание осуществляется за счет восьми — десяти поворотов.

Водоворотная камера хлопьеобразования представляет собой цилиндр, в верхнюю часть которого из смесителя вводится сточная вода через диаметрально расположенные сопла с противоположным направлением выхода струи. При скорости выпуска воды из сопел 2—3 м/с в камере поддерживается вращательное движение. В нижней части камеры перед выходом в отстойник находятся гасители вращательного движения воды.

Вихревая камера хлопьеобразования представляет собой конический или цилиндрический расширяющийся кверху резервуар с нижним впуском сточной воды. Угол наклона стенок камеры к горизонту около 70°.

В камерах хлопьеобразования, оборудованных *лопастными мешалками*, продолжительность пребывания воды - 20-30 мин, а скорость движения воды 0,15-0,2 м/с.

Последующее осветление сточной воды производится в горизонтальных, радиальных и вертикальных отстойниках, осветлителях со взвешенным слоем осадка или флотаторах. Для очистки городских сточных вод наиболее целесообразной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод. На I ступени осуществляется простое отстаивание в отстойнике без коагулянта, на II ступени — обработка сточных вод коагулянтами и флокулянтами с последующим отстаиванием в отстойнике.

Проектирование и расчет сооружений. Выбор типа оборудования для смешивания и хлопьеобразования зависит от производительности сооружений, состава и свойств сточных вод, применяемых реагентов, условий проектирования, строительства и эксплуатации очистных сооружений.

Технологический расчет сооружений рекомендуется вести для заданных оптимальных значений среднего градиента скорости G и продолжительности пребывания воды t .

Продолжительность пребывания воды в смесителях составляет 1-2 мин. В случае использования в качестве коагулянта сульфата двухвалентного железа период смешения должен быть не менее 7 мин. с подачей воздуха в смеситель. Эффективное перемешивание раствора коагулянта с водой происходит при среднем градиенте скорости $G = 200 \text{ с}^{-1}$, а раствора флокулянта с обрабатываемой смесью – при $G = 300-500 \text{ с}^{-1}$

Трубопроводы или лотки, отводящие воду из смесителей в сооружения хлопьеобразования, рассчитывают на скорость движения сточной воды 0,8—1 м/с и продолжительность ее пребывания в них не более 2 мин.

Интенсивность перемешивания в камерах хлопьеобразования оценивается величиной градиента $G=25-50 \text{ с}^{-1}$ при последующем отстаивании и $G=50-75 \text{ с}^{-1}$ для флотационного разделения.

Формулы, связывающие технологические параметры с градиентом скорости, для основных типов камер перемешивания приведены ниже.

Перегородчатая камера:

$$G = \left(\frac{q_w \rho (nV_1^2 + (n-1)V_2^2)}{2W\mu} \right)^{0,5} \quad (11.23)$$

где q_w – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – число перегородок;

V_1, V_2 – поперечная и продольная скорости движения потока, $\text{м}/\text{с}$;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

W – вместимость камеры, м^3 ;

μ – динамическая вязкость воды, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Коридоры проектируют так, чтобы скорость движения воды в первом была 0,2-0,3 м/с, а в последнем — 0,1 м/с.

Средняя продолжительность пребывания воды в перегородчатых камерах 20—30 мин. Высота камеры определяется высотой отстойника, а ширина коридоров составляет не менее 0,7 м.

Водоворотная и вихревая камеры:

$$G = \left(\frac{q_w \rho V^2}{2W\mu} \right)^{0,5} \quad (11.24)$$

где V – скорость выхода воды из сопла 2-3 м/с, скорость впуска в вихревую камеру 0,7-1,2 м/с.

Скорость восходящего потока сточной воды в вихревой камере на уровне выпуска 4 – 5 мм/с, продолжительность пребывания воды 6-10 мин.

Продолжительность пребывания воды в водоворотной камере зависит от метода отделения скоагулированной дисперсии и составляет в среднем 15—20 мин.

Камера с механическим перемешиванием:

$$G = \left(\frac{2\pi n N}{W\mu} \right)^{0,5} \quad (11.25)$$

где n – частота вращения мешалки, с⁻¹;

N – начальная мощность на валу мешалки, Вт.

Период флокуляции в камерах с механическим перемешиванием принимают 20-30 мин.

Сорбционная очистка сточных вод

Сорбция - это равновесный динамический процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом, жидкостью или газом. Поглощающее тело называется *сорбентом*, а поглощаемое - *сорбатом*. Различают поглощение вещества всей массой жидкого или газообразного сорбента (*абсорбция*) и поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента (*адсорбция*). Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется *хемосорбцией*.

В технологии очистки сточных вод в основном используют адсорбционный процесс на развитой твердой поверхности сорбентов.

Адсорбция растворенных веществ - результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдаются два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности сорбента и молекул растворенного вещества с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия и есть та сила, с которой удерживается извлеченное из раствора вещество на поверхности сорбента.

Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность сорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора. Поэтому сорбционная очистка сточных вод целесообразна, если в них содержатся соединения, энергия связи которых с твердой поверхностью сорбента значительно превосходит энергию гидратации.

Сорбционные методы относятся к наиболее эффективным для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно или совместно с другими методами предварительной и глубокой очистки сточных вод.

Преимуществами этих методов являются возможность адсорбции веществ из многокомпонентных смесей и высокая эффективность при малых концентрациях загрязнений сточных вод.

Сорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использованием очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

В качестве сорбентов применяют природные материалы, отходы некоторых производств, активные угли и синтетические сорбенты.

Природные пористые материалы, такие как торф, активные глины и производственные отходы (зола, коксовая мелочь, силикагели, алюмогели), обладают малой сорбционной емкостью, которая характеризуется количеством поглощаемого вещества на единицу объема или массы сорбента ($\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{кг}$).

Эффективными сорбентами являются активные угли различных марок. Пористость этих углей составляет 60-75 %, а удельная поверхность 400-900 $\text{м}^2/\text{г}$. Адсорбционные свойства активных углей в значительной мере зависят от структуры пор, их величины, распределения по размерам. В зависимости от преобладающего размера пор активные угли делятся на крупно- и мелкопористые и смешанного типа. Поры по размеру подразделяют на три вида: макропоры размером 0,1-2 мкм, переходные размером 0,004-0,1 мкм, микропоры размером менее 0,004 мкм.

Макропоры и переходные поры играют, как правило, роль транспортирующих каналов, а сорбционная способность активных углей определяется в основном микропористой структурой. Растворенные органические вещества, имеющие размеры частиц менее 0,001 мкм, заполняют объем микропор сорбента, полная емкость которых соответствует его поглощающей способности. В табл. 11.1 приведены полная емкость и объем микропор для активных углей различных марок.

В настоящее время синтезировано достаточно много полимерных пористых материалов. В процессе производства структура их пор может направленно изменяться в очень широких пределах. Для адсорбционных процессов в водной среде синтезированы полимерные пористые материалы на основе стирола и дивинилбензола – *полисорбы*. Технологические свойства полисорбов отличаются от активных углей несколько меньшей энергией связи извлекаемых загрязнений с поверхностью полисорба, однако они легче поддаются регенерации растворителями. Это особенно важно для последующей утилизации ценных веществ.

Таблица 11.1

Марка угля	Полная емкость, см ³ /г	Емкость микропор, см ³ /г	Основной размер зерен, мм	Насыпная плотность, кг/м ³
АГ-2	0,6	0,3	1-3,5	600
АГ-3	0,8-1,06	0,37	1,5-2,8	450
БАУ	1,5	0,32	1-3,5	260
АР-3	0,7	0,19	1-5,5	550
КАД-йодный	1	0,23	1-5	380
КАД-молотый	0,42	0,12	<0,04	-
СКТ	0,98	0,51	1,5-2,0	420

Технологические схемы методов адсорбции. Процесс сорбции может осуществляться при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, при фильтровании через неподвижный слой или в псевдоожиженном слое на сооружениях периодического или непрерывного действия. Основные схемы адсорбционного процесса очистки сточных вод приведены на рис. 11.6.

Процесс сорбции в статических условиях (рис. 11.6, а) осуществляется путем интенсивного перемешивания обрабатываемой сточной воды с сорбентом в течение определенного периода времени τ и последующего отделения сорбента от воды отстаиванием, фильтрованием и т.п. При последовательном введении новых порций сорбента в очищаемую воду теоретически можно очистить ее от загрязняющих веществ до любой концентрации, но количество ступеней при этом может быть весьма значительным.

В противоточной схеме использования сорбента его вводят только в последнюю ступень. После отделения сорбента от очищаемой воды на этой ступени он последовательно подается на предыдущие вплоть до первой (рис. 11.6, б). Эта схема позволяет вести процесс очистки воды непрерывно при значительно меньшем расходе сорбента вследствие более полного

использования его сорбционной емкости. Благодаря более экономичному расходованию сорбента, противоточные сорбционные установки применяются значительно шире.

Недостаток противоточной схемы статической сорбции состоит в сложности эксплуатации и больших энергетических затратах.

Процесс сорбции в динамических условиях осуществляют путем фильтрования сточных вод через слой плотно уложенного сорбента (рис.7.49, в). Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных в сточных водах веществ и составляет 1-12 м/ч; крупность зерен сорбента - 0,8-5 мм. Наиболее рациональное направление фильтрования жидкости - снизу-вверх, так как в этом случае происходит равномерное заполнение всего сечения колонны и относительно легко вытесняются пузырьки воздуха или газов, попадающих в слой сорбента вместе со сточной водой.

Обычно сорбционная установка представляет собой несколько параллельно работающих секций, состоящих из трех-пяти последовательно расположенных фильтров. При достижении предельного насыщения головной фильтр отключается на регенерацию, а обрабатываемая вода подается на следующий фильтр. После регенерации головной фильтр включается в схему очистки уже в качестве последней ступени.

Фильтры с неподвижным слоем сорбента применяют также при регенеративной очистке цеховых сточных вод с целью утилизации выделенных относительно чистых продуктов.

При относительно высоком содержании в сточной воде мелкодисперсных частиц, не отделяемых в процессах механической очистки, целесообразно использовать процесс с псевдоожиженным слоем сорбента.

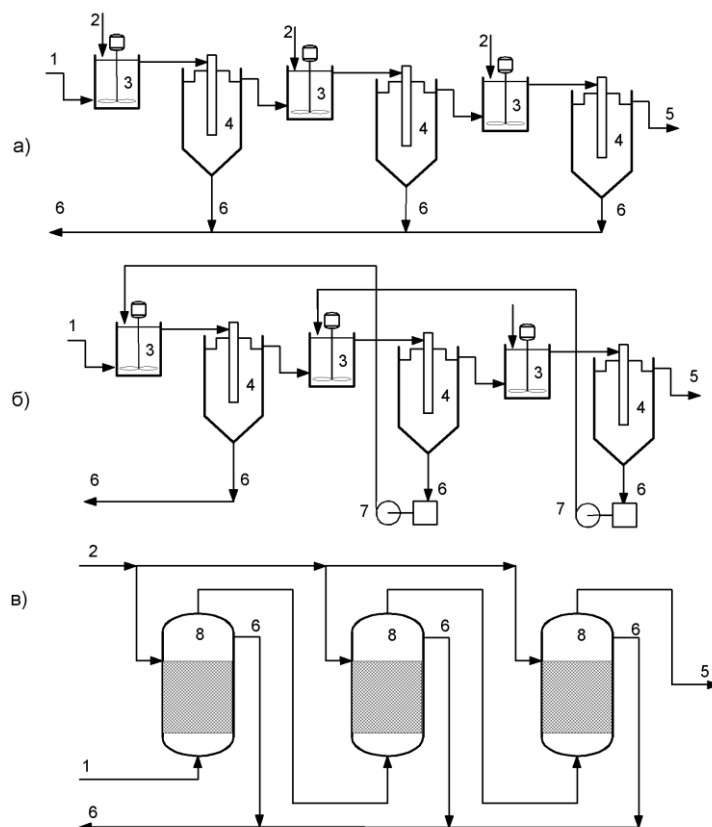


Рис. 11.6. Схемы сооружений для сорбционной очистки сточных вод: а - сорбционная установка с последовательным введением сорбента; б - сорбционная установка с противоточным введением сорбента; в - сорбционная установка с неподвижным слоем адсорбента; 1, 5 - подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 - подача сорбента; 3- резервуары с перемешивающим устройством; 4 - отстойники для отделения отработанного сорбента от очищаемой воды; 6 - выпуск отработанного сорбента; 7 - система подачи сорбента на предыдущую ступень; 8 – адсорбционный фильтр

Псевдоожижение слоя наступает при повышении скорости потока сточной воды, проходящей снизу-вверх через поперечное сечение сооружения, до величины, равной гидравлической крупности зерен загрузки. Важнейшим показателем работы установки с псевдоожиженным слоем сорбента является показатель оживления

$$\varepsilon = \frac{H_{\text{пж}}}{H_{\text{пл}}} \quad (11.26)$$

где $H_{\text{пж}}$, $H_{\text{пл}}$ – высоты псевдоожиженного и плотного слоев сорбента.

Величину показателя оживления ε рекомендуется поддерживать равной 1,4 – 1,6.

Сорбенты, используемые для очистки сточных вод, могут быть нерегенерируемыми и регенерируемыми. В последнем случае они подвергаются восстановлению с использованием регенеративной технологии, когда извлеченные вещества утилизируются, или деструктивной, при которой извлеченные вещества уничтожаются. В зависимости от назначения сорбционной очистки применяются различные методы регенерации сорбента или его уничтожения.

Для извлечения сорбированных веществ могут быть применены экстрагирование органическим растворителем, изменение степени диссоциации слабого электролита в равновесном растворе, отгонка адсорбированного вещества с водяным паром, испарение адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя. В отдельных случаях осуществляют химические превращения сорбированных веществ с последующей десорбцией.

При деструктивной очистке обычно применяют термические или окислительные методы. При термическом методе потери углеродного сорбента могут достигать 5-10%.

В структуре затрат на сорбционную очистку стоимость сорбентов составляет 30—35 %.

Сооружения для сорбционной очистки сточных вод. *Аппараты с неподвижным слоем адсорбента* конструктивно выполняются подобно фильтрам с зернистой загрузкой напорными (закрытыми), рассчитанными на работу под давлением, или безнапорными (открытыми) в виде резервуаров прямоугольного или круглого сечения. Адсорберы оборудуются необходимым числом задвижек и вентилях для управления их работой, отбора проб воды и выпуска воздуха или газов, попадающих в сооружение вместе с очищаемой водой.

Отработавший сорбент выгружают из адсорбера насосом, гидроэлеватором, эрлифтом или шнеком при относительном расширении

загрузки на 20-25 %, создаваемом потоком воды со скоростью 40-45 м/ч. В напорных адсорберах допускается предусматривать выгрузку сорбента под давлением не менее 0,3 МПа. Металлические конструкции, трубопроводы, арматура и емкости, соприкасающиеся с влажным сорбентом, должны быть защищены от действия коррозии.

Аппараты с движущимся слоем адсорбента применяют в виде цилиндрических одноярусных адсорберов с псевдоожиженным слоем (рис. 11.7). Такой аппарат представляет собой колонну высотой около 4 м. Верхняя часть ее имеет диаметр в 1,5-2 раза больший диаметра основной колонны. В зависимости от диаметра колонны коническое днище имеет центральный угол 30-60°. Непосредственно над коническим днищем устанавливается распределительная решетка с отверстиями 5-10 мм и шагом отверстий около 10 мм, на которую загружается активный уголь с размером частиц 0,25-1 мм и преимущественным содержанием фракции 0,5-0,75 мм. Высота неподвижного слоя угля составляет 2,5-2,7 м.

В нижнюю часть аппарата через центральную трубу, заканчивающуюся диффузором под решеткой, либо через боковой патрубок тройника, подсоединенного к конусному днищу, поступает сточная вода со скоростью, обеспечивающей показатель ожижения в пределах 1,4-1,6. Сорбент в виде 5-20 % - ной суспензии поступает в верхнюю расширенную часть той же центральной трубы, по которой в колонну адсорбера подается сточная вода. В трубе вода смешивается с углем. Образовавшаяся суспензия поступает через диффузор под решетку, продавливается через ее отверстия и задерживается в нижней части псевдоожиженного слоя угля, который находится в колонне. Обработанная сточная вода отводится в кольцевой желоб верхней части царги.

При высоте адсорберов 0,5- 1 м следует устанавливать секционирующие решетки с круглой перфорацией 10-20 мм и долей живого сечения 10-15 %, оптимальное число секций три-четыре. Скорость восходящего потока воды в

адсорберах надлежит принимать 30-40 м/ч при крупности частиц сорбента 1-2,5 мм и 10-20 м/ч при крупности частиц 0,25-1 мм.

Проектирование и расчет сооружений адсорбции. В зависимости от области применения метода сорбционной очистки, места расположения адсорберов в общей схеме очистных сооружений, состава сточных вод, вида и крупности сорбента назначают ту или иную схему сорбционной очистки и тип адсорбера. Так, за сооружениями биологической очистки применяют безнапорные фильтры с диаметром зерен сорбента 0,8-5 мм или адсорбер с псевдоожиженным слоем сорбента с диаметром зерен 0,5-1 мм. При глубокой очистке производственных сточных вод и возврате их в систему оборотного водоснабжения применяют аппараты с мешалкой и намывные фильтры с крупностью зерен сорбента 0,1 мм и менее или схемы с использованием напорных фильтров с загрузкой в виде плотного слоя гранулированного угля.

В основу расчета установок статической сорбции с перемешивающими устройствами (рис. 11.6, а) положено уравнение материального баланса:

$$m \cdot a + QC = QC_0 \quad (11.27)$$

где m - подача сорбента, кг/ч;

a – удельная адсорбция, кг/кг;

Q – количество обрабатываемых сточных вод, м³/ч;

C_0, C – концентрация сорбата в поступающей и очищенной воде.

Приняв уравнение изотермы адсорбции Генри:

$$a = KC \quad (11.28)$$

Где K – константа адсорбционного равновесия, можно определить расход сорбента для одноступенчатого процесса:

$$m = \frac{Q(C_0 - C)}{KC} \quad (11.29)$$

Если процесс сорбции осуществляется по одноступенчатой схеме, то концентрация сорбата в обработанной воде будет:

$$C = \frac{QC_0}{Q + K \cdot m} \quad (11.30)$$

При числе ступеней сорбции n концентрацию загрязнений в сточной воде после очистки в n -ой ступени C_n определяют по формуле

$$C_n = \left(\frac{Q}{Q + K \cdot m} \right)^n \cdot C_0 \quad (11.31)$$

Расход сорбента, подаваемого в каждую ступень, находят по уравнению:

$$m_n = \frac{Q}{K} \cdot \sqrt[n]{\frac{C_0}{C_n} - 1} \quad (11.32)$$

Общее количество сорбента:

$$m = nm_n \quad (11.33)$$

При проектировании сорбционных установок с противоточным введением сорбента (рис. 11.6, б) концентрацию вещества в обработанной сточной воде после n ступеней находят по выражению:

$$C_n = C_0 \cdot \frac{K \cdot m / Q - 1}{(K \cdot m / Q)^{n+1} - 1} \quad (11.34)$$

Расход сорбента, вводимого при использовании противоточной технологической схемы в последнюю ступень установки, определяют из уравнения:

$$\alpha m^{n+1} - \beta m - \gamma = 0 \quad (11.35)$$

Где:

$$\alpha = \left(K / Q \right)^{n+1}; \beta = \frac{KC_0}{QC_n}; \gamma = \frac{C_0}{C_n} - 1 \quad (11.34)$$

При расчете адсорбционных фильтров продолжительность их защитного действия T_ϕ , ч, определяют по формуле:

$$T_\phi = kH_\phi - \tau_0 \quad (11.37)$$

где k - коэффициент защитного действия;

H_ϕ - высота слоя сорбента, м;

τ_0 - потеря времени защитного действия.

Введение в уравнение (11.37) величины τ_0 связано с тем, что работа фильтра до момента появления "проскока" загрязнений в фильтрате возможна только при условии, что длина слоя адсорбента больше некоторой минимальной величины, называемой "мертвым слоем".

Поскольку скорость адсорбции определяется скоростью массопереноса, процесс поглощения вещества из потока воды протекает не мгновенно, а в течение некоторого периода времени, то и концентрация в потоке уменьшается от начальной (C_0) до конечной (C) за этот же период. При этом элемент потока воды переместится на расстояние H_0 . Участок слоя адсорбента, в котором происходит снижение концентрации загрязнений от C_0 до C , называется "работающим слоем".

Коэффициент защитного действия фильтра для хорошо адсорбирующихся веществ, характеризующихся выпуклой изотермой адсорбции, можно определить по формуле:

$$k = \frac{a_m}{V_\phi C_0} \quad (11.38)$$

где a_m , - удельная динамическая адсорбция, кг/м³, устанавливается по экспериментальным данным;

V_ϕ — скорость фильтрования, м/ч;

C_0 - начальная концентрация сорбируемого вещества в сточной воде, кг/м³.

Если удаляемые компоненты являются в данных условиях слабо адсорбируемыми веществами, необходимо учитывать, что в фильтрационном слое они находятся в виде раствора, заключенного в межзерновом пространстве и больших порах зерен загрузки. Изотерма адсорбции будет иметь вогнутый вид. В этом случае коэффициент защитного действия

определяется по формуле:

$$k = \frac{a_m - \varepsilon C_0}{V_\phi C_0} \quad (11.39)$$

где ε - порозность слоя загруженного адсорбента, м³/м³.

Площадь сечения фильтра, нормально расположенная к направлению фильтрации F , м², определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{V_\phi} \quad (11.40)$$

где Q — расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Число последовательно работающих адсорбционных фильтров рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{H_\phi}{H} \quad (11.41)$$

где H_ϕ — высота слоя адсорбента, необходимая для обеспечения заданной продолжительности фильтроцикла T_ϕ ;

H — конструктивная высота слоя загрузки одного фильтра, м.

Количество вещества, задерживаемого адсорбционным фильтром M , кг, определяется по формуле:

$$M = a_m H_\phi F \varepsilon \quad (11.42)$$

Потери напора в слое сорбента при крупности частиц 0,8—5 мм принимают не более 0,5 м на 1 м слоя загрузки.

Очистка сточных вод озонированием

Озонирование является универсальным методом, позволяющим эффективно очищать сточные воды от самых разных видов загрязнений.

При нормальных температурах и давлении озон представляет собой газ бледно-фиолетового цвета. Молекула озона включает три атома кислорода, которые структурно образуют равнобедренный треугольник с углом в вершине, равным 116°49'.

При разложении озона высвобождается значительное количество тепла,

что может явиться причиной взрыва (нижний предел взрываемости озono-воздушной смеси в объемных единицах равен 5%).

По сравнению с другими окислителями, например, хлором, озон имеет ряд преимуществ. Благодаря высокой окислительной способности, он применяется как для обеззараживания, так и для деструкции трудноокисляемых органических загрязнений. Этот тип загрязнений представлен в сточных водах многочисленными классами красителей, поверхностно-активных веществ, пестицидов и др. Кроме этого озонирование эффективно для окисления многих неорганических соединений, таких как цианиды, хроматы и др. Дополнительным эффектом озонирования воды является ее обогащение растворенным кислородом.

Озон можно получать непосредственно на очистных установках, причем сырьем служит технический кислород или атмосферный воздух.

Перспективность применения озонирования как деструктивного метода обусловлена также тем, что оно не приводит к увеличению солевого состава очищаемых сточных вод, мало загрязняет воду продуктами реакции, а сам процесс легко поддается полной автоматизации.

В процессе обработки сточных вод озон, подаваемый в камеру реакции в виде озono-кислородной или озono-воздушной смеси, вступает в сложный многостадийный процесс физико-химических взаимодействий с водой и содержащимися в ней загрязнениями.

Первоначально взаимодействие озона с водной средой обусловлено процессами диффузионной и турбулентной массопередачи на границе раздела фаз "газ-жидкость", образованной всплывающими газовыми пузырьками. В результате этого одна часть молекул газа оказывается адсорбированной на внешней поверхности пузырьков, другая – растворенной в воде.

В дальнейшем действие озона сопровождается химическими взаимодействиями с загрязнениями, которые условно можно представить

четырьмя основными типами: прямое окисление, окисление радикалами, озоноллиз, озонокатализ.

Реакции прямого окисления веществ озоном описываются окислительно-восстановительными уравнениями, результатом которых с учетом полноты завершения процесса могут быть вещества с большей положительной валентностью или окислы веществ. Примером таких реакций может служить окисление минеральных веществ, содержащих Fe^{2+} или S^{2-} , которые после озонирования переходят соответственно в формы Fe^{3+} и $(\text{SO}_4)^{2-}$.

Окисление смеси органических веществ озоном в соответствии со скоростью реакций происходит в следующей последовательности: олефины → амины → фенолы → полициклические ароматические углеводороды → спирты → альдегиды → парафины.

Непрямое окисление осуществляется большим числом активных радикалов, например, $\text{OH}^\cdot$, образующихся в результате саморазложения озона в воде. Скорость непрямого окисления прямо пропорциональна количеству разложившегося озона и обратно пропорциональна концентрации присутствующих в воде загрязнителей. Некоторые вещества подвергаются лишь прямому окислению, другие, как органические кислоты с малой молекулярной массой, — окислению радикалами. Окисление может осуществляться также совместным или последовательным воздействием прямого окисления и окисления радикалами.

Озонлиз представляет собой процесс закрепления озона на двойной или тройной углеводородной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые так же, как озон, являются нестойкими соединениями и быстро разлагаются.

Каталитическое действие озона (озонокатализ) заключается в усилении им окисляющей способности кислорода, который присутствует в озонируемом воздухе.

Расход озона на разрушение загрязняющих сточные воды веществ

зависит от многих факторов: pH водной среды, температуры, концентрации загрязнений, способа смешения и продолжительности контакта озono-воздушной смеси с водой.

Для интенсификации процессов озонирования применяют гомогенные и гетерогенные катализаторы, которые увеличивают скорости реакций окисления озоном. Существенная интенсификация очистки сточных вод достигается при совместном применении озона и ультразвука или озона и ультрафиолетового излучения.

Технологические схемы применения озона. Выбор технологической схемы озонирования зависит от многих факторов: состава и количества обрабатываемой сточной воды, дозы озона, скорости взаимодействия озона с окисляемыми примесями и др. Принимая во внимание высокую стоимость получения озона, его токсичность и пожароопасность, важным показателем эффективности работы установок озонирования воды является коэффициент использования озона. Поэтому при разработке технологии применения озона, наряду с его высокой реакционной способностью, следует учитывать и необходимость максимально полного использования непосредственно в контакте со сточной водой.

Оборудование для озонирования сточных вод. Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков - получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис.11.7) включает четыре ступени: забор и охлаждение воздуха; осушка воздуха; фильтрование воздуха; генерация озона.

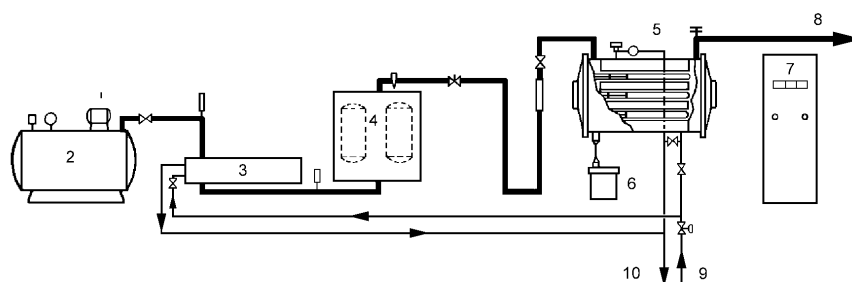


Рис. 11.7. Схема установки получения озона: 1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – сушилка; 5 – генератор озона; 6 – трансформатор; 7 – электрический щит; 8 – подача озонозоо-воздушной смеси; 9, 10 – подача и отведение охлаждающей воды

Атмосферный воздух через воздухозаборную шахту подается на фильтр, где очищается от пыли, после чего воздуходувками подается на водоотделитель капельной влаги, а затем на автоматические установки для сушки воздуха, загруженные активным глиноземом.

Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушенный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

Озон может быть получен различными методами: с помощью химических реакций, в результате воздействия ионизирующего облучения, высокочастотного электрического поля или коронного (тихого) электрического разряда на атомы кислорода.

В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым приложена разность потенциалов 5-25 кВ. Чтобы избежать образования электрической дуги, один (а иногда оба) электрода покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрическим барьером), образующим эквипотенциальную поверхность. В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный разряд. Этот способ получения озона является наиболее выгодным с энергетической точки зрения. Затраты электроэнергии на получение 1 кг озона из кислорода составляют 14-20 кВт·ч и из воздуха - 27-35 кВт·ч.

В конструкциях озонаторов используют трубчатые электроды из стекла, внутренняя поверхность которых покрыта металлической амальгамой. Ее слой является электродом высокого напряжения, а само стекло диэлектрическим барьером. Обычно озонаторы выполняют в виде цилиндрических сосудов, в которых располагается несколько десятков

параллельно работающих трубчатых озонирующих элементов, состоящих из двух концентрически расположенных стеклянных трубчатых электродов. Воздух движется вдоль оси озонирующих элементов в кольцевом пространстве.

В табл. 11.2 приведены основные технические характеристики некоторых отечественных озонаторов. Производительность озонатора и расход электроэнергии на получение озона в значительной степени зависят от влагосодержания поступающего в него воздуха, температуры, концентрации кислорода, а также от его конструкции и давления озono-воздушной смеси, подаваемой в контактную камеру.

Таблица 11.2.

Технические характеристики озонаторов с элементами трубчатого типа

Марка озонатора*	Производительность по озону, кг/ч	Концентрация озона в озono-воздушной смеси, г/м ³	Потребляемая мощность, кВт	Расход воздуха, м ³ /ч	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч
ТМ-300	0,3	до 25	6	20	1,5
ТМ-600	0,6	до 25	12	40	3
ТС-1,2	1,2	до 25	25	80	6
П-60	1,5	20	15	75	7
П-90	2,6	20	35	130	18
ТС-3,5	3,5	до 25	70	190	20
П-160	4,8	20	64	315	25
ТС-5,0	5,0	до 25	120	250	40
П-379	11,5	20	151	745	64
П-647	19,6	20	258	1275	97

*Озонаторы марки "П" производятся ОАО "Курганхиммаш", а озонаторы марок "ТМ" и "ТС" – НПО "Техозон" г. Дзержинск.

В обрабатываемую сточную воду озон вводят различными способами: барботированием содержащего озон воздуха через слой воды; противоточной абсорбцией озона водой в абсорберах с различными насадками (кольца Рашига, хордовая насадка и др.); смешиванием воды с озоно-воздушной смесью в эжекторах или в специальных роторных механических смесителях.

Выбор типа контактного аппарата определяется расходами обрабатываемой воды и озоно-воздушной смеси, достаточным периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

Основные типы контактных аппаратов для обработки воды показаны на рис.11.8. Двухсекционная барботажная контактная камера (рис.11.8, а) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания сточных вод, так и для их глубокой очистки. Озоно-воздушная смесь распыляется фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб и разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Обычно применяют материалы с размером пор от 50 до 100 мкм, так как более мелкие обладают значительным динамическим сопротивлением и быстро забиваются, а более крупные не обеспечивают достаточную дисперсность газовой фазы.

Движение обрабатываемой сточной воды и озоно-воздушной смеси в контактной камере по встречным направлениям обеспечивает большую эффективность озонирования. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис.11.8, б дан пример контактной камеры с инъекцией озоно-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водно-газовая эмульсия вводится инжектором у дна контактного аппарата, откуда поднимается вместе с обрабатываемой водой. Такие установки применяются, как правило, для обработки сточных вод, содержащих легко окисляемые примеси, при малом времени контакта воды с озоном, и для утилизации не полностью прореагировавшего озона в отработанном газе.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем – импеллером (рис.11.8, в), применяются, для небольших расходов воды. Обрабатываемая вода подается в зону всасывания импеллера, который смешивает ее с озонсодержащим газом, эжектируемым под импеллер. Очень тонкая водогазовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение газовой фазы по объему реактора. Инжекционные и импеллерные контактные аппараты удобно применять в многоступенчатых схемах озонирования для повторного использования частично отработанной озono-воздушной смеси.

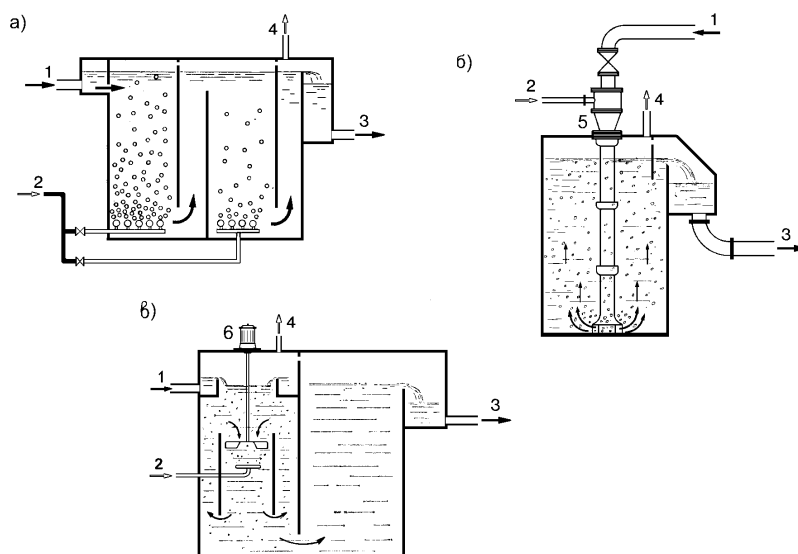


Рис. 11.8. Контактные камеры: а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором; в – камера, оборудованная импеллером; 1, 3 - подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – подача озono-воздушной смеси; 4 – выпуск отработанной озono-воздушной смеси; 5 – инжектор; 6 – импеллерное устройство

Количество не использованного в процессе обработки воды озона может составлять 2-8%. С целью предотвращения выбросов в атмосферу не прореагировавшего в контактных аппаратах озона, в системе выпуска отработанной озono-воздушной смеси предусматривают установку деструкторов остаточного озона. Наибольшее применение нашли термические и термокаталитические деструкторы. Термический метод

основан на способности озона быстро разлагаться при высоких температурах. В аппаратах термической деструкции озона обрабатываемый газ нагревают до температуры 340-350 °С и выдерживают в течение 3 с. Существуют конструкции термодеструкторов с рекуперацией тепла. Термокatalитический метод деструкции основан на быстром разложении озона на кислород и атомарный кислород при температуре 60-120 °С в присутствии катализаторов.

Расчет и проектирование сооружений озонирования. Расчет сооружений и оборудования для осуществления метода озонирования включает два основных этапа:

- определение требуемого количества озона, расчет системы диспергирования его в воду и подбор озонаторного и вспомогательного оборудования;
- определение геометрических размеров и гидравлических показателей контактных камер.

Величина расхода озона, теоретически достаточного для проведения процесса окисления загрязнений $G_{\text{оз.т}}$, кг/ч, равна:

$$G_{\text{оз.т}} = a_{\text{оз}} C_0 \mathcal{E} Q_w \cdot 10^{-5} \quad (11.43)$$

где $a_{\text{оз}}$ - удельная доза озона, необходимая для окисления единицы массы удаляемого загрязнения, мг/мг;

C_0 - концентрация удаляемого загрязнения в поступающих сточных водах, мг/л;

$\mathcal{E}$ - эффективность очистки сточных вод, %;

Q_w - максимальный часовой расход сточных вод, м³/ч.

Необходимая производительность озонаторов с учетом коэффициента использования озона $G_{\text{оз}}$, кг/ч:

$$G_{\text{оз}} = \frac{G_{\text{оз.т}}}{k_{\text{оз}}} \quad (11.44)$$

где $k_{\text{оз}}$ – коэффициент использования озона, равный отношению массы

прореагировавшего озона к массе поданного.

Число одновременно работающих генераторов озона находят исходя из производительности серийно выпускаемых озонаторов:

$$N_{\Gamma} = \frac{G_{\text{оз}}}{q_{\text{оз}}} \quad (11.45)$$

где $q_{\text{оз}}$ - производительность одного озонатора, кг/ч.

При расчете системы диспергирования газовой фазы в барботажных контактных камерах определяют площадь поверхности фильтросных элементов $f_{\text{общ}}$, м², которые размещают у дна камеры для равномерного распределения озono-воздушной смеси в воде:

$$f_{\text{общ}} = \frac{G_{\text{оз}}}{C_{\text{оз}} v} \quad (11.46)$$

где $C_{\text{оз}}$ - концентрация озона в озono-воздушной смеси, кг/м³;

v - скорость потока газа через поверхность фильтросного элемента, м³/(м² ч), принимается по техническим характеристикам конкретных изделий.

Количество фильтросных элементов, шт:

$$N_{\text{Э}} = \frac{f_{\text{общ}}}{f_{\text{Э}}} \quad (11.47)$$

где $f_{\text{Э}}$ - площадь одного фильтросного элемента, м².

Металлокерамические фильтросные трубы следует располагать по дну контактных камер на расстоянии 0,4 м, а керамические - на расстоянии 0,5 м между осями. При таком расположении труб барботажные факелы объединяются на высоте 2 м.

Вместимость контактной камеры W_k , м³, определяют с учетом объемного газонаполнения воды:

$$W_k = \frac{Q_w(1 + \varphi)}{t} \quad (11.48)$$

где φ - объемное газонаполнение, для барботажного диспергирования принимают 0,05 – 0,15;

t – время пребывания сточной воды в контактных камерах, ч.

Величины a_{oz} и t определяют экспериментально для каждого вида сточных вод. Высота слоя воды в барботажных контактных камерах обычно 4,5-5 м. В двухступенчатых камерах высота слоя воды в каждой ступени составляет 2,5-2,8 м. Контактные камеры могут быть прямоугольными и круглыми в плане, число их принимается не менее двух.

Озон и его водные растворы чрезвычайно коррозионны - они разрушают сталь, чугун, медь, резину, некоторые виды пластмасс. Поэтому все элементы озонаторных установок и трубопроводы, контактирующие с озоном или с его водными растворами, должны изготавливаться из коррозионностойких материалов.

Расход электроэнергии на получение 1 кг озона из хорошо осушенного воздуха для озонаторов различных типов составляет 13-26 кВт·ч, из технического кислорода 6-12 кВт·ч, а из неосушенного воздуха - 43-57 кВт·ч. Расход электроэнергии на осушение воздуха и его компрессию для получения 1 кг озона 6-10 кВт·ч.

В связи с токсичностью озона, поражающего органы дыхания и центральную нервную систему, особое внимание при проектировании озонаторных установок уделяется вопросу вентиляции помещений и герметизации реакторов (предельно допустимое содержание озона в воздухе помещений, где находятся люди, составляет 0,0001 мг/л).