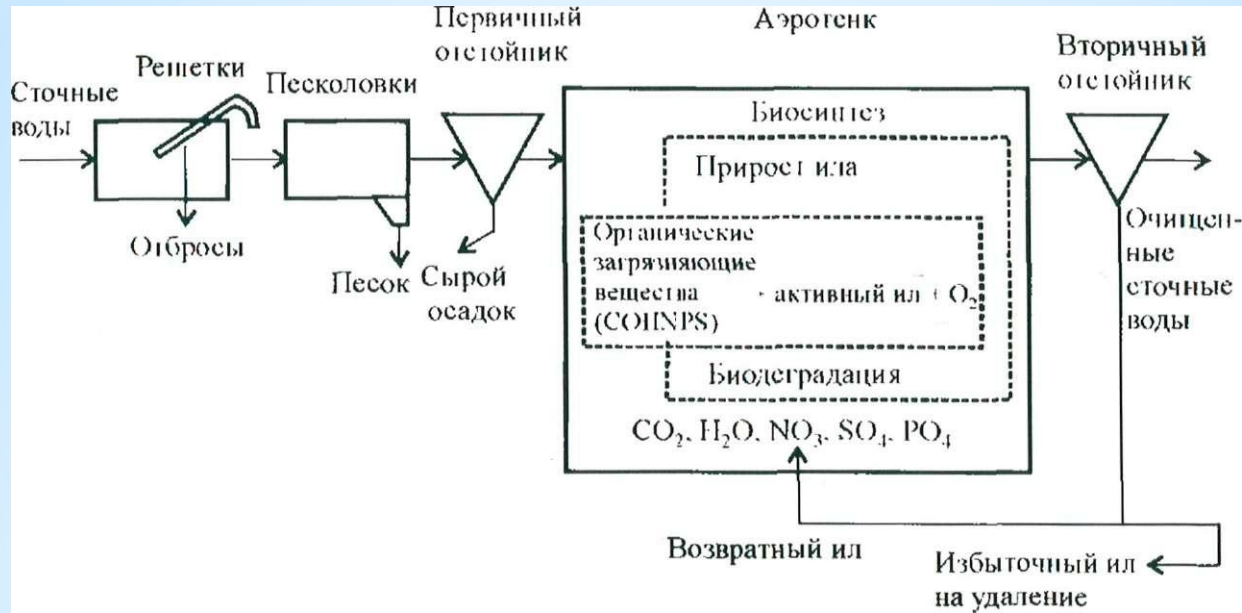


*Микробиологические  
методы  
очистки воды  
Лекция 5*

# Устройство основных звеньев механической и биологической очистки сточных вод

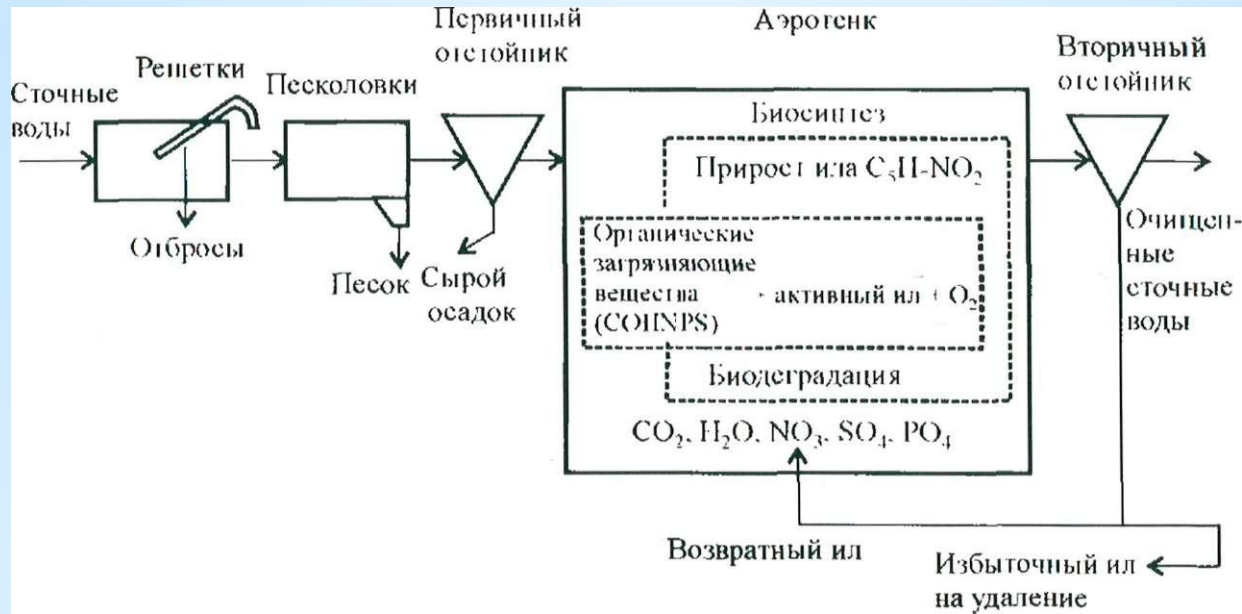


Традиционная схема биологической очистки сточных вод

Схема классической двухступенчатой (механической и биологической) очистки сточных вод предусматривает обработку воды на решетках, в песколовках, первичных отстойниках, аэротенках и вторичных отстойниках.

Результатом механической очистки является освобождение сточных вод от отбросов, грубодисперсных примесей, песка и взвешенных (минеральных и органических) веществ. Результатом биологической очистки — освобождение осветленных вод от оставшихся минеральных и органических загрязняющих веществ, находящихся во взвешенном, коллоидном и растворенном состоянии.

# Устройство основных звеньев механической и биологической очистки сточных вод



Традиционная схема биологической очистки сточных вод

## Назначение решеток

Решетки предназначены для удаления из сточных вод крупных плавающих отбросов (тряпье, бумага, пластик, стекло, остатки пищи, полиэтилен, перо, резина). Их необходимо извлекать из сточных вод на начальной стадии очистки, так как они засоряют трубы, каналы, насосы, затрудняют обработку осадка и замусоривают природные водоемы, принимающие сточные воды.

## Назначение песколовков

Песколовки предназначены для удаления из сточных вод тяжелых примесей минерального происхождения с размером частиц 0,09- 0,5 мм и более. Песколовки удаляют частицы гравия, песка, костей, угля, шлака, бетона и т.п.

## Микробиологические методы очистки воды

## Стержневые решетки



Для освобождения сточных вод от крупных плавающих отбросов применяются разнообразные типы механизмов, основными из которых являются: стержневые решетки с ручной и механизированной очисткой прутьев, ступенчатые решетки, ротационные диски, ротационные барабаны, центрифуги. Причем, ротационные барабаны и диски, а также центрифуги применяются не только для тщательного удаления крупных плавающих отбросов, но также для удаления минеральных взвесей, песка и частично органических загрязняющих веществ, что позволяет отказаться от использования песколовок и первичных отстойников на последующих стадиях очистки сточных вод.

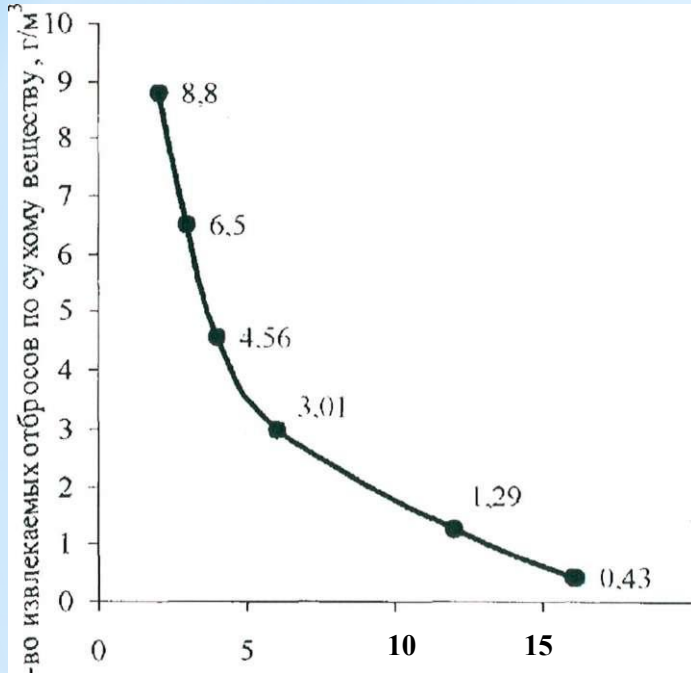
Обычно на небольших сооружениях, где количество удерживаемых на решетках отбросов не более  $100 \text{ м}^3$  в сутки, применяются стержневые решетки с очисткой их вручную. Механизированные стержневые решетки оборудованы движущимися граблями, зубцы которых входят в прозоры между стержнями и, двигаясь вверх или вниз, сзади или спереди решетки очищают ее от накопившихся отбросов. Граблины приводятся в движение от электродвигателя тяговыми цепями, канатами или тросами.

Наиболее часто применяется круглая форма сечения стержней решетки, так как она оптимальна в гидравлическом отношении. Однако на круглых стержнях легко образуются волокнистые структуры отбросов, засоряющие решетки.

Стержни прямоугольного сечения меньше подвержены обволакиванию и накручиванию на них различных материалов, но создают максимальный эффект сопротивления потоку сточных вод. В современных конструкциях стержневых решеток это учтено и используются более сложные формы сечения стержней. Так механизированные стержневые решетки производства «Экотон» не засоряются волокнистыми отбросами, благодаря конструктивному исполнению прутьев, имеющих каплевидную форму в сечении (каплевидный профиль полотна).

**Микробиологические методы очистки воды**

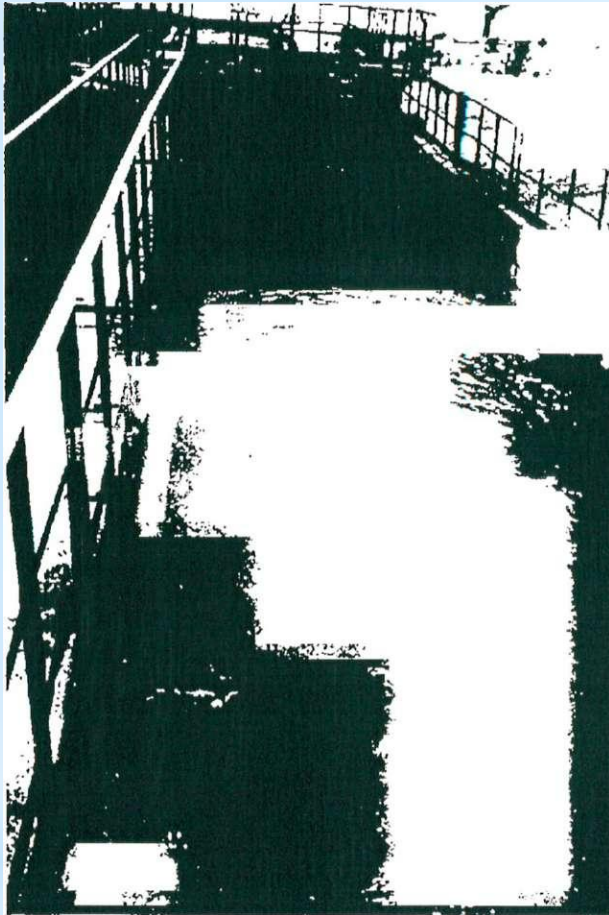
## Стержневые решетки



Количество отбросов, задерживаемых на решетках, зависит от состава очищаемых сточных вод и ширины прозоров между стержнями решетки. При величине прозоров 16 мм (наиболее распространенной в России) отбросов на решетках задерживается не более 5-15 % от их содержания в сточных водах. Кроме того, при использовании крупнопрозрачных стержневых решеток большое значение имеет система подачи воды. При самотечном поступлении сточных вод на решетках задерживается отбросов больше. Работа насосов создает повышенные скорости протекания сточных вод через решетки, в результате вынос отбросов с решеток увеличивается. При уменьшении ширины прозоров с 16 до 4, 3, 2 мм эффективность изъятия отбросов значительно увеличивается до (10-20 раз).

Применение решеток с прозором менее 10 мм предпочтительно не только из-за более эффективного изъятия крупных плавающих отбросов, но также потому, что мелкие прозоры способствуют образованию на решетке дополнительного фильтрующего слоя из самих отбросов, что с одной стороны, повышает эффект их задержания, а с другой — позволяет плавающим жирам и нефтепродуктам осесть на эту подстилку, тем самым механически изъять их из сточных вод.

## *Песколовки*



По требованию СНиП 2.04.03-85 песколовки устанавливаются обязательно, если объем очищаемых сточных вод более  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Однако на практике существует целый ряд проектов поселковых очистных сооружений, а также компактных установок с объемом очищаемых сточных вод значительно превышающим  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ , у которых отсутствуют песколовки или песколовки и первичные отстойники. Отсутствие последних иногда оправдано низкими нагрузками по содержанию биоокисляемых органических веществ на активный ил, но отсутствие песколовок на таких сооружениях постоянно сопровождается рядом проблем в процессе их эксплуатации, а именно, — накопление песка в аэротенках, засорение диффузоров воздуха, быстрый износ насосов. В таких случаях затраты на дополнительное проектирование и установку песколовок очень быстро себя оправдывают.

Принцип действия песколовки гравитационный, т.е. минеральные частицы, удельная масса которых больше удельной массы воды ( $1,6 \text{ г}/\text{см}^3$ ), главным образом песок, выпадают на дно.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные (с горизонтальным прямоточным и круговым движением воды), вертикальные (вода подается снизу и направляется вверх) и с водоворотным движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

## *Первичные отстойники*

Сточные воды, освобожденные в песколовках от песка и крупных минеральных взвешенных частиц, направляются в первичные отстойники, которые предназначены для задержания гораздо более мелких взвесей. Отстаивание основано на способности грубодисперсных нерастворенных примесей оседать на дно отстойника под действием гравитационной силы и всплывать на его поверхность под действием архимедовой.

В зависимости от назначения отстойников, в технологической схеме очистных сооружений они подразделяются на первичные и вторичные. **Первичными называются отстойники, входящие в состав сооружений механической очистки, а вторичными — отстойники, устраиваемые в составе сооружений биологической очистки для отделения активного ила от биологически очищенных сточных вод.**

Обычно на сооружениях устанавливаются одинаковые конструкции первичных и вторичных отстойников, которые различаются, как правило, только объемом, поскольку у вторичных он предусматривается несколько большим, так как осадок, в виде уплотненного активного ила, более чувствителен к гидравлическим перегрузкам, чем сырой осадок. На сооружениях очистки сточных вод применяется в основном четыре типа отстойников: **вертикальные, радиальные, горизонтальные и двухъярусные.** Двухъярусные отстойники устанавливаются на очистных сооружениях небольшой производительности, они предназначены для гравитационного отстаивания нерастворимых примесей и сбрасывания сырого осадка.

# Горизонтальные отстойники

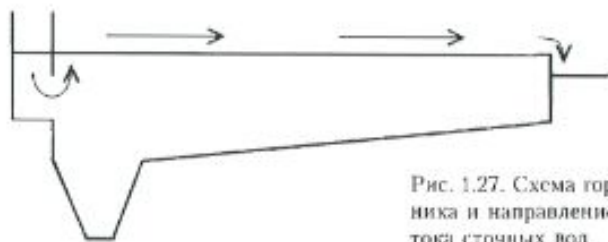


Рис. 1.27. Схема горизонтального отстойника и направление движения в нем потока сточных вод

Горизонтальные отстойники широко распространены на очистных сооружениях различной производительности, их рекомендуется применять для осветления сточных вод объемом свыше 15 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и они хорошо зарекомендовали себя на сооружениях большой производительности.

В горизонтальный отстойник сточные воды по подводящему лотку поступают в торцевую часть через ряд отверстий, окна и т.п. Для гашения скорости потока и равномерного его распределения на впуске в отстойнике устанавливается распределительное устройство или жестко закрепленная доска, которая обычно располагается над первым прямком. Иногда дополнительно с той же целью используются решетчатые щиты, которые располагаются сразу за погруженной доской. Затем вода поступает в отстойную часть и перемещается с очень малой скоростью (необходимо, чтобы поддерживались скорости горизонтального движения ниже скоростей гравитационного отстаивания), затем отводится через выпускной водослив в сборный лоток у противоположной торцевой стенки отстойника. В начале горизонтального отстойника, где выпадает большее количество осадка, размещают один или несколько прямков, объем которых зависит от конструкции отстойников и способов удаления ила. Прямки могут быть расположены в начале и конце отстойника, а осевшие частицы сгребаются в них с помощью скребков, совершающих поступательные движения от одного прямка к другому. Применяются скребковые механизмы разных типов: цепные, тележечные.

$L:S = \text{от } 3 : 1 \text{ до } 5 : 1$ .  $H_{\text{ж}} = \text{от } 2,0 \text{ до } 2,5 \text{ м}$ . Днище отстойника слегка наклонено к иловому прямку, уклон зависит от типа скребкового устройства и не должен быть менее 0,01.

Горизонтальные отстойники относятся к наиболее эффективным конструкциям, так как в них создаются очень благоприятные гидродинамические условия для осаждения взвешенных веществ. Удовлетворительно работающие горизонтальные отстойники задерживают до 60 % нерастворимых примесей. Кроме того, прямоугольные конструкции этих отстойников занимают меньшую площадь, чем круглые.

**Недостатки горизонтальных отстойников:** высокая стоимость монтажа; скребковый механизм имеет несколько опор и много движущихся частей, что приводит к поломке (наиболее уязвимы цепи); малая длина водослива, что создает гидравлические перегрузки в торцевых частях отстойника.

**Микробиологические методы очистки воды**

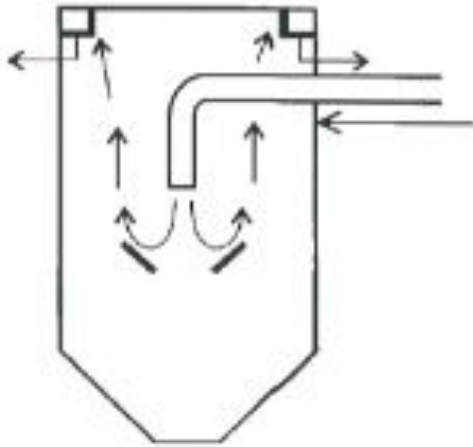


# Вертикальные отстойники

Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический железобетонный резервуар (реже квадратный четырехконусный) с конусным или пирамидальным днищем. В зависимости от конструкции впускного устройства вертикальные отстойники подразделяются на два типа: с центральным и периферийным впуском воды.

Наиболее распространены отстойники с центральным впуском и нисходяще-восходящим движением воды.

Сточная вода поступает сверху вниз через центральную вертикальную трубу с раструбом в нижней части. Под вертикальной трубой расположен отражательный щит, который изменяет направление движения воды с вертикального нисходящего на вертикальное восходящее, при этом происходит интенсивное выпадение в осадок диспергированных частиц в отстойной части.



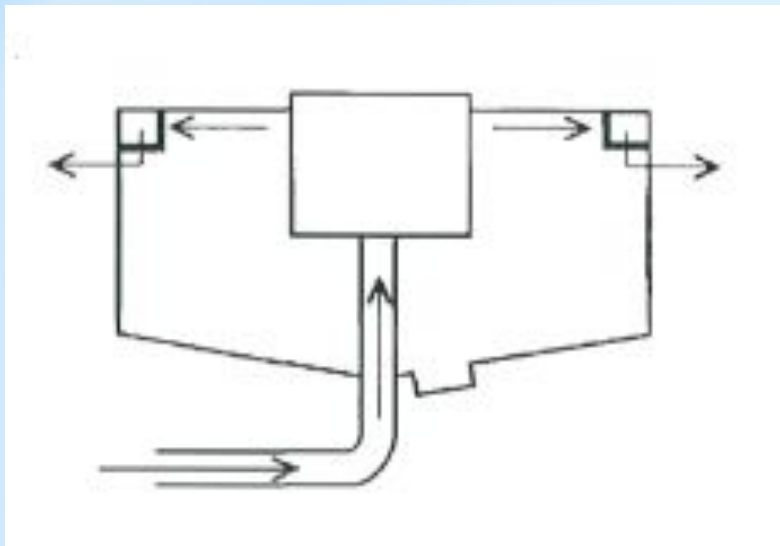
Восходящий поток сточных вод переливается через водопереливную кромку в периферийный лоток для сбора осветленной воды. Выпавшая взвесь, накапливающаяся в отстойной части, периодически выпускается по илопроводу. Перегородка, расположенная перед отводным лотком (гребни), препятствует попаданию в удаляемый поток отбросов, всплывающих на поверхность первичного отстойника.

Эти отбросы собираются с поверхности, как правило, вручную совком, скребком, черпаком с дырчатым дном и т.п., а затем удаляются через специальный бункер в колодец, находящийся вне сооружения. Вертикальные отстойники являются сооружениями большой глубины (до 9 м), поэтому, если уровень грунтовых вод расположен высоко, эти конструкции не применяются. Они устанавливаются в основном на небольших очистных сооружениях, так как при превышении объема очищаемых сточных вод более 10000 м<sup>3</sup>/сут. их применять не рекомендуется.

Вертикальные отстойники проще по конструкции и в эксплуатации, чем горизонтальные (правда, требуют много ручного труда). Однако эффект осветления воды в них на 25-30 % ниже, чем в горизонтальных и на 10-15 % ниже, чем в радиальных. При удовлетворительной работе вертикальных отстойников удаляется не более 40 % взвешенных веществ. У вертикальных отстойников более низкая стоимость монтажа и эксплуатации, чем у горизонтальных. Длина водослива по периметру вертикальных отстойников достаточно велика, что позволяет свести к минимуму скорость движения воды у водослива и уменьшить вынос взвешенных веществ. К их недостаткам относятся: большая глубина, что удорожает стоимость строительства; плохое сползание осадка к центру днища отстойника, что приводит к его плохому уплотнению, брожению и низкой дозе возвратного ила.

**Микробиологические методы очистки воды**

## Радиальные отстойники



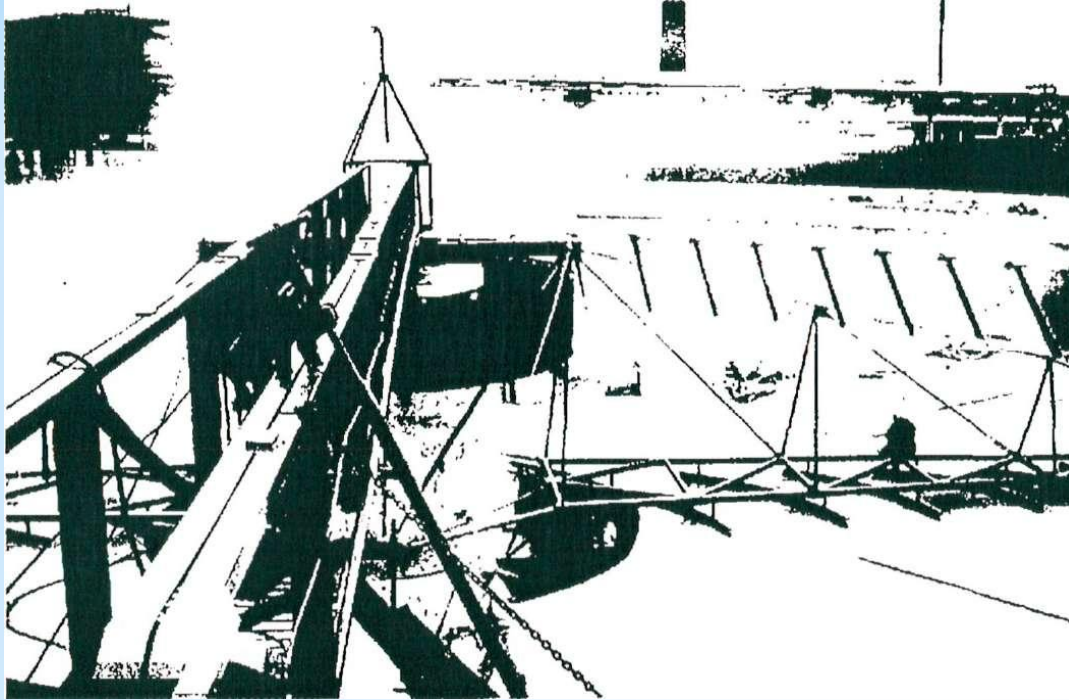
Радиальный отстойник представляет собой цилиндрический железобетонный резервуар большого диаметра (от 16 до 60 м) и глубиной 0,1-0,15 диаметра. Сточные воды подаются по трубопроводу или лотку в вертикальную центральную трубу снизу вверх, из которой выливаются в отстойную часть через распределительное устройство — цилиндрический полу погруженный отражательный щит. Осветленные сточные воды сливаются через круговой водослив, установленный по окружности отстойника, в сборный лоток. Перед водосливом устраивается полупогруженная кольцевая стенка (гребни), удерживающая всплывающие вещества, которые отводятся из отстойника по специальной трубе.

Дну отстойника придают уклон к иловому приемку 0,1-0,5. Это больший уклон к горизонту, чем рекомендован в СНиПе 2.04.03-85 для радиальных отстойников (0,005-0,05), но его увеличение позволяет избежать затруднений в процессе сгребания сырого осадка с днища отстойника к приемку. Осадок из приемка удаляют эрлифтами, гидроэлеваторами или погружными насосами. Отстойник оборудован вращающейся фермой со скребками для сбора осадка. К ферме крепится скребок для сбора плавающих веществ, и отстойник оборудуется жиросборником. Ферма бывает одно-, двух- и четырехкрылой. Радиальные отстойники применяют при производительности очистных сооружений более 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Скребковый механизм с центральным приводом, опирающийся на одну опору в центре, имеет меньше движущихся частей, чем цепные скребковые механизмы горизонтальных отстойников, поэтому он реже выходит из строя. Радиальные отстойники обеспечивают 50 %-ное удаление взвешенных веществ и не имеют перечисленных недостатков горизонтальных и вертикальных отстойников. В типовых проектах диаметр радиальных отстойников составляет 18, 24, 28, 30, 33, 40, 50 и 54 метра.

Радиальные отстойники менее чувствительны к гидравлическим перегрузкам, но при их эксплуатации также следует учитывать некоторые особенности, предотвращающие избыточный вынос взвешенных веществ за счет возникающих в отстойниках дополнительных гидравлических потоков.

**Микробиологические методы очистки воды**

## *Радиальные отстойники*



Радиальные отстойники имеют в сравнении с другими типами отстойников самую большую длину водоперелива, которая с увеличением диаметра отстойника возрастает. Наиболее рациональный диаметр радиальных отстойников 30-40 м, так как при их строительстве минимизируются затраты (за счет применяемого большого размера сокращается число отстойников), а при эксплуатации не возникает проблем, связанных с большой поверхностью (водосборная площадь во время осадков и ветровые течения).

При необходимости сократить число применяемых отстойников (для удешевления стоимости строительства) или при перегрузке уже работающих отстойников требуется проведение мероприятий по сокращению гидравлической нагрузки на водослив. Для этого устраивается не один кольцевой периферийный лоток, а два или лоток с двухсторонним переливом осветленных вод.

## Радиальные отстойники

Типовые конструкции радиальных отстойников предусматривают перемещение фермы илоскребов с помощью чугунного колеса по рельсовому пути, проложенному по борту отстойника.

Эксплуатация такой конструкции элементов вращения фермы илоскребов очень сложная. Рельсовый путь тележки должен быть отрихтован, но и в этом случае вибрация сохраняется; на стыках рельсов от постоянных ударов разрушаются сварные швы и стены отстойников; механизм часто выходит из строя; зимой рельсы промерзают и т.п. Для улучшения вращения фермы илоскребов на многих сооружениях на обод колеса наплавляется резина или чугунные колеса заменяются резиновыми пневмоколесами, а рельсы с борта отстойника снимаются.

В зимний период борт отстойника покрывается снегом и промерзает, что нарушает плавное вращение фермы. Для постоянного сметания снега с борта отстойника к ферме перед колесом крепится резиновый скребок, который опускается в рабочее положение в период снегопадов.

Отстойник-шламоуплотнитель на ОСПС  
«Пассавант» ОАО «АвтоВАЗ»



# Аэротенки

Процесс биологической очистки загрязняющих веществ в **аэротенках** происходит при непосредственном контакте сточных вод с оптимальным количеством организмов активного ила в присутствии соответствующего количества растворенного кислорода (в течение необходимого периода времени) с последующим отделением активного ила от очищенной воды во вторичных отстойниках. Активный ил — искусственно выращиваемый биоценоз при аэрации антропогенно загрязненных вод, населенный гелепродуцирующими бактериями гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших.

Основные параметры процесса биологической очистки должны быть взаимосвязаны, а именно: объем аэротенков, количество и окисляемость загрязняющих веществ в сточных водах, время контакта сточных вод с активным илом. Кроме того, седиментационные свойства активного ила, которые определяются всеми перечисленными параметрами, должны соответствовать технологическим возможностям применяемых вторичных отстойников — удовлетворительно отделять очищенные сточные воды от ила (за установленное время нахождения в них).

Обычно аэротенк — это резервуар прямоугольного сечения, по которому протекают сточные воды, смешанные с активным илом. Воздух, вводимый с помощью пневматических или механических устройств, перемешивает обрабатываемую жидкость с активным илом и насыщает ее кислородом, необходимым для жизнедеятельности бактерий, простейших и многоклеточных животных.

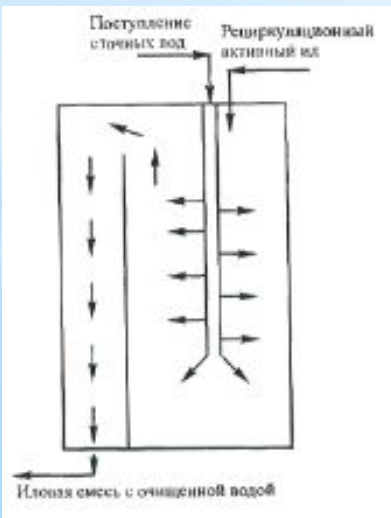
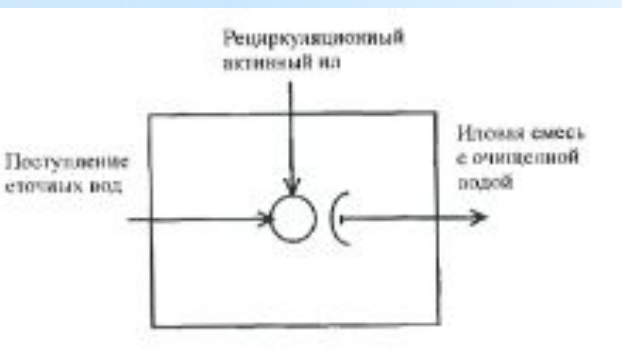
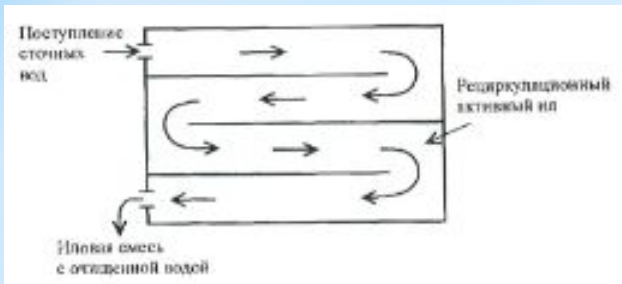
Основные параметры процесса биологической очистки воды в аэротенках:

- содержание активного ила (бактерий),
- содержание кислорода,
- расход сточных вод в единицу времени и содержание в них загрязняющих веществ,
- размеры аэротенка.

# Конструкции аэротенков

Конструкции применяемых аэротенков подразделяются по способу подачи сточных вод и их потоку на три основных типа: вытеснители (рис. 1) с «поршневым» потоком сточных вод, смесители с рассредоточенной или центральной (рис. 2) подачей и выпуском сточных вод и аэротенки промежуточного типа (рис. 3).

К **вытеснителям** относятся одно-, двух- и т.д. коридорные аэротенки, в которых коридоры отделены друг от друга продольными направляющими перегородками, не достигающими до одной из торцевых стен. В торцах аэротенка расположены каналы для впуска и отведения сточных вод. В зависимости от геометрических размеров в этих аэротенках в той или иной степени выполняется условие полного вытеснения потока сточных вод. Особенностью процесса, протекающего в аэротенках-вытеснителях, является изменение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах и скорости очистки по длине аэротенка. Окислительный процесс в аэротенках-вытеснителях происходит неравномерно: в начале аэротенка — быстрее, а по мере приближения к концу и уменьшения количества субстрата - медленнее.



В **аэротенках-смесителях** обеспечивается полное и быстрое смешение сточных вод с массой активного ила, в установившемся режиме они работают с равномерными скоростями процесса очистки. Предпочтительно использовать аэротенки-смесители при очистке высококонцентрированных промышленных сточных вод, сходных по составу с бытовыми (пищевые комбинаты, пивные заводы, рыбные заводы), а также при неравномерном притоке и часто возникающих залповых перегрузках. Однако, при использовании смесителей существует угроза развития вспухания активного ила, во всяком случае, они более подвержены ему, чем другие конструкции аэротенков по причине высоких нагрузок на активный ил по всему объему сооружений.

К **аэротенкам промежуточного типа** относятся, например, коридорные аэротенки с рассредоточенной по длине подачей сточных вод и с впуском активного ила в начало коридора.

Аэротенки подразделяются также по виду применяемой аэрации на: аэротенки с механической или (наиболее распространенной) пневматической аэрацией.

## *Факторы, определяющие удовлетворительную работу аэротенков*

Наиболее важными факторами, влияющими на развитие и жизнеспособность активного ила, а также качество биологической очистки, являются: **температура, наличие питательных веществ, содержание растворенного кислорода в иловой смеси, значение рН, присутствие токсинов.**

Удовлетворительная работа аэротенков в значительной степени определяется также технологическим режимом эксплуатации, где основное значение имеют:

- оптимальное соотношение между концентрацией загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах, и рабочей дозой активного ила по массе (при уменьшении дозы ила возникает эффект повышения нагрузки и снижения качества очистки, при увеличении дозы затрудняется эффективное разделение ила и очищенной воды во вторичных отстойниках);
- необходимое время контакта загрязненных сточных вод с активным илом;
- достаточная аэробность системы.

# *Оптимальное соотношение между концентрацией загрязняющих веществ и рабочей дозой активного ила*

Часть органических веществ сточных вод окисляется до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а часть идет на синтез запасных веществ и образование новых клеток активного ила. В результате синтеза увеличивается биомасса ила. Доза ила по массе служит ориентировочным показателем того, сколько в иловой смеси потребителей загрязнений. Для того чтобы обеспечить удовлетворительное качество очистки, необходимо при возрастании поступления загрязняющих веществ со сточной водой, увеличивать концентрацию их потребителей, т.е. дозу ила по массе, тогда удельная нагрузка на ил останется стабильной.

Поэтому нормы дозы ила устанавливаются в зависимости от нагрузки на ил по БПК и от технических возможностей отделения очищенной воды от ила во вторичных отстойниках.

Доза ила ( $\text{г/дм}^3$ ) для аэротенков без регенераторов на полную и неполную очистку городских сточных вод (СНиП П-32-74) составляет

<b>БПК<sub>полн</sub>, <math>\text{мг/дм}^3</math></b>	<b>Доза ила, <math>\text{г/дм}^3</math></b>
до 100	не менее 1,2
От 101 до 150	не менее 1,5
От 151 до 200	не менее 1,8
От 201 и более	не менее 1,8, не более 3,0

В зимний период, когда мощность биологического окисления снижается, аэротенкам необходимо работать с более высокой дозой ила. Так если в летний период доза ила составляла  $1,2-1,5 \text{ г/дм}^3$ , то в зимний - ее следует поддерживать в интервале от  $1,6$  до  $2,0 \text{ г/дм}^3$ , что выполнить несложно, так как в зимний период из-за преобладания ассимиляционных процессов прирост ила возрастает по сравнению с теплым временем года.

Если аэротенки работают с регенераторами, то в регенераторах необходимо поддерживать дозу в 2-3 раза большую, чем в аэротенках для обеспечения глубокого доокисления сложноокисляемых соединений.

**Микробиологические методы очистки воды**



## Доза активного ила по объему и иловый индекс

В практике эксплуатации аэротенков используются две характеристики седиментационных свойств активного ила — **доза ила по объему** и **иловой индекс**.

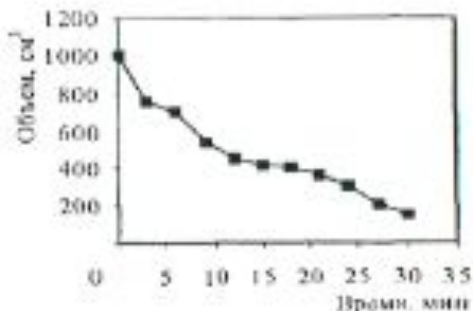
**Доза ила по объему** характеризует способность активного ила к осаждению за 30 мин отстаивания. **Иловой индекс** — это объем 1 грамма сухого ила занимаемый им за 30 мин отстаивания в 1 дм<sup>3</sup> цилиндре. Иловой индекс также характеризует седиментационные свойства ила, но уже с учетом его сухой массы.

При оценке дозы ила по объему требуется отмечать результаты измерения каждые 3 мин отстаивания для определения плавности и равномерности осаждения, что является характеристикой хороших седиментационных свойств ила, как и его способность занимать наименьший объем после 30-ти минутного отстаивания.

Иловой индекс  $I$  (см<sup>3</sup>/г) рассчитывается после того, как получены значения дозы по сухой массе и объему. Результат получается от деления значений дозы ила по объему  $V$ , см<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup> на количественные значения дозы ила по сухой массе  $d$ , г/дм<sup>3</sup> :

$$I = \frac{V}{d}$$

Хорошо оседающий активный ил осаждается быстро с образованием зоны осветления (скорость осаждения 1 м в час и более) плавно, хорошо уплотняясь, не занимая большого объема после окончательного уплотнения и не всплывая после осаждения 1) течение 1,0-1,5 часов.



На рисунке показана осаждаемость активного ила при удовлетворительных седиментационных характеристиках и высоком качестве очистки, обеспечиваемом таким активным илом.

Одно из основных требований к иловому индексу — стабильность его значений, которая указывает на удовлетворительные условия жизнедеятельности ила и удовлетворительный режим эксплуатации сооружений (оптимальное количество ила удаляется из системы и поддерживается нормальная доза возвратного ила).

# *Время контакта активного ила со сточными водами*

Время контакта активного ила с загрязненными сточными водами определяется таким технологическим параметром как период аэрации, который вычисляется по формуле:

$$T = \frac{W}{q},$$

где  $W$  – объем аэрируемых сооружений,  $\text{м}^3$ ;  $q$  — часовой расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Продолжительность периода аэрации предусматривается при проектировании и обуславливается сложностью состава очищаемых промышленных сточных вод. Чем сложнее такой состав, тем более продолжительный контакт сточных вод с илом требуется для обеспечения глубокого окисления сложноокисляемых загрязнений.

## *Кислородный режим в аэротенках*

Организмы активного ила являются микроаэрофилами: для нормальной жизнедеятельности им требуются малые количества растворенного кислорода. Критической концентрацией растворенного кислорода считается **0,2 мг/дм<sup>3</sup>**, вполне удовлетворительной для микроаэрофилов — **0,5 мг/дм<sup>3</sup>**. Однако активный ил не терпит залежей и при малейшем застое, по причине нарушения массообмена в хлопьях, он начинает гибнуть от собственных метаболитов. Поэтому предусмотренные нормы на содержание растворенного кислорода (**не менее 1,0-2,0 мг/дм<sup>3</sup>** в любой точке аэротенка) предполагают обеспечение интенсивного перемешивания иловой смеси с целью ликвидации залежей ила. При концентрации растворенного кислорода, превышающей максимально необходимую, критическую величину, степень активности микроорганизмов не увеличивается и очистка не улучшается. Поэтому для каждого очистного сооружения устанавливается своя «критическая концентрация» кислорода, причем степень его поглощения определяется, главным образом, характером и концентрацией загрязнений. Бытовые стоки — это относительно слабый питательный раствор и в нем скорость поглощения кислорода превосходит скорость поглощения питательных веществ, поэтому кислород редко лимитирован на сооружениях, очищающих такие сточные воды. В концентрированных промышленных сточных водах с высоким содержанием легкоокисляемых органических веществ скорость поглощения бактериями питательных веществ будет превосходить скорость поглощения кислорода, который в этом случае лимитирован. Таким образом, необходимая степень аэрации должна в первую очередь учитывать нагрузки по загрязняющим веществам, а не гидравлические нагрузки. Повышение содержания растворенного кислорода в аэротенках выше 3,5-4,0 мг/дм<sup>3</sup> мало влияет на эффективность биохимического окисления загрязняющих веществ, но сильно увеличивает энергетические затраты.

Наибольшая потребность в кислороде характерна для начала аэротенка-вытеснителя, куда поступают сточные воды с максимальным содержанием загрязняющих веществ. Далее по длине аэротенка степень аэрации можно снижать, а в зоне регенерации снова увеличивать в 2-3 раза.

Подача воздуха обеспечивает несколько процессов, происходящих с активным илом: дыхание организмов, перемешивание иловой смеси, удаление метаболитов, хемоокисление загрязняющих веществ.

## *Кислородный режим в аэротенках*

Плохие аэрационные условия для активного ила могут быть обусловлены следующими причинами:

- сокращением количества подаваемого воздуха, разрушением и засорением подающих воздух элементов (фильтросных пластин, дырчатых труб, мелкопузырчатых диспергаторов и т.д.);
- залежами и микрозалежами плохо перемешиваемого ила в различных участках аэрируемой зоны и всех звеньев очистки;
- повышением удельных нагрузок на активный ил за счет возрастания содержания растворенных органических веществ в поступающих на очистку водах;
- воздействием токсикантов на активный ил (токсиканты блокируют дыхательные ферменты у простейших и многоклеточных организмов активного ила или дыхательные пигменты у бактерий);
- возрастанием кислородпоглощаемости активного ила из-за нарушения режима выгрузки осадка из вторичных отстойников;
- превышением оптимальной концентрации возвратного ила (недостаток кислорода возникает при увеличении биомассы активного ила).

Улучшения аэрационных условий можно достичь налаживанием технологического режима эксплуатации (возможности ограничены) и увеличением процента использования кислорода воздуха активным илом за счет смены аэрирующих элементов.

# Расчеты для пневматической системы аэрации аэротенков

Расход воздуха на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод ( $D_{1м^3}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) рассчитывается по формуле:

$$D_{1м^3} = D_{ср.сут} / Q_{ср.сут}$$

где  $D_{ср.сут}$  — среднесуточный расход воздуха, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{ср.сут}$  - среднесуточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

**Расход воздуха на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод может составлять от 3,5 до 15 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.**

Расход воздуха на 1 кг снятой органики, характеризуемой показателем БПК<sub>5</sub>, ( $D_{БПК5}$ , м<sup>3</sup>/кг) рассчитывается по формуле:

$$D_{БПК5} = D_{1м^3} / (L_{пост} - L_{очищ}),$$

где  $L_{пост}$  — содержание БПК<sub>5</sub>, в поступающих на очистку сточных водах, мг/дм<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;  $L_{очищ}$  — содержание БПК<sub>5</sub> в очищенных водах, мг/дм<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;  $D_{1м^3}$  — расход воздуха на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

**Расход воздуха на 1 кг снятой органики, характеризуемой показателем БПК<sub>5</sub>, в среднем составляет от 30 до 55 м<sup>3</sup>/кг и может повышаться до 90 м<sup>3</sup>/кг при очистке сточных вод на высоконагружаемых сооружениях и достигать значительных расходов до 120 м<sup>3</sup>/кг снятой БПК в процессе продленной аэрации.**

Интенсивность аэрации ( $J$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> ч) рассчитывается по формуле:

$$J = D_{1м^3} \cdot H / T,$$

где  $H$  — глубина аэротенков или регенераторов, песколовок, минерализаторов, м;  $T$  — период аэрации, ч;

$D_{1м^3}$  — расход воздуха на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Интенсивность аэрации должна быть достаточной для обеспечения как процесса насыщения иловой смеси растворенным кислородом, так и процесса ее перемешивания.

**Микробиологические методы очистки воды**

# Расчеты для пневматической системы аэрации аэротенков

Подобные расчеты можно произвести, учитывая расходы воздуха по производительности установок. Расход воздуха ( $D_{1м3}$ , м<sup>3</sup>/ м<sup>3</sup>) составит:

$$D_{1м3} = N / Q_{\text{ср.сут}}$$

где N — суточная производительность воздуходувок, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{\text{ср.сут}}$  - среднесуточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Расход воздуха на 1 кг снятой органики, характеризующейся показателем БПК<sub>5</sub>, ( $D_{\text{БПК5}}$ , м<sup>3</sup>/кг) рассчитывается по формуле:

$$\text{БПК}_5 = N / L_{\text{утил}} = N / (L_{\text{пост}} - L_{\text{очищ}}),$$

где  $L_{\text{утил}}$  ( $L_{\text{утил}} = L_{\text{пост}} - L_{\text{очищ}}$ ) - количество утилизированной органики, характеризующейся показателем БПК<sub>5</sub> в сутки, кг

Интенсивность аэрации (J, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> ч) на единицу площади поверхности сооружения рассчитывается по формуле:

$$J = D_1 / F_{\text{аэр.соор}}$$

где  $D_1$  – часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/час;

$F_{\text{аэр.соор}}$  – площадь водного зеркала аэрируемых сооружений, м<sup>2</sup>.

**Пример расчета процента использования кислорода воздуха на 1 кг снятой органики, характеризующейся показателем БПК<sub>5</sub>**

Израсходовано 60 м<sup>3</sup> воздуха на 1 кг БПК<sub>5</sub>. Переведем объем воздуха в единицы массы. Масса 1 м<sup>3</sup> воздуха при  $t = 0^\circ \text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. составляет 1,29 кг/м<sup>3</sup>, поэтому масса 60 м<sup>3</sup> воздуха составит:

$$60 \text{ м}^3 \cdot 1,29 \text{ кг/м}^3 = 77,4 \text{ кг.}$$

В воздухе содержится 20,99 % кислорода, отсюда на 1 кг снятой органики, характеризующейся показателем БПК<sub>5</sub>, израсходовано кислорода:

$$77,4 \text{ кг} \cdot 0,21 = 16,3 \text{ кг.}$$

Рассчитаем процент использования кислорода воздуха на 1 кг снятой органики, характеризующейся показателем БПК<sub>5</sub>:

$$1 \text{ кг} / 16,3 \text{ кг} \cdot 100\% = 6,13\%.$$

**Микробиологические методы очистки воды**

## *Прирост активного ила*

Активный ил постоянно образует новые клетки, осуществляя биохимическое окисление органических загрязняющих веществ. Интенсивность прироста клеток ила регулируется несколькими факторами и зависит от:

- природы окисляемого субстрата;
- температуры очищаемых сточных вод, которая определяет степень ассимиляционных процессов;
- самоокисляющей способности активного ила, зависящей от величины нагрузки и периода аэрации на сооружениях;
- седиментационных характеристик ила и выноса взвешенных веществ из вторичных отстойников;
- наличия токсикантов (снижающих прирост) или мутагенов-стимуляторов прироста.

Прирост активного ила обусловлен наличием в сточных водах биоразлагаемых органических веществ. При очистке сточных вод со значительной долей биоразлагаемого субстрата (бытовые и, сходные с ними по составу, сточные воды пищевой промышленности (пивоварение, производство сахара и др.)) прирост ила повышенный, а при очистке промышленных сточных вод сложного состава с недостаточным содержанием биохимически окисляемого субстрата — пониженный.

Доля биоразлагаемого субстрата выражается соотношением БПК : ХПК или величиной нагрузки на активный ил по органическим загрязняющим веществам, характеризуемых показателем БПК.

В зимнее время прирост повышается за счет усиления ассимиляционных процессов у активного ила, как у большинства организмов.

В низконагружаемых сооружениях с большим периодом аэрации часть ила самоокисляется и прирост может резко уменьшаться, на этом основана технология минерализации. Иногда считают, что таким образом можно избежать прироста ила на действующих сооружениях.

Действительно при очень низких нагрузках, при очистке промышленных сточных вод сложного состава и длительном периоде аэрации, а также у зрелого ила, прирост резко сокращается, но это сокращение не может приблизиться к нулю в современных сооружениях биологической очистки.

## Прирост активного ила

Для аэротенков-смесителей ежесуточный прирост (Пр, мг/дм<sup>3</sup>), количество вновь образующегося ила (за счет изъятия и усвоения загрязняющих веществ из воды) для городских и близких им по составу производственных сточных вод определяется по формуле:

$$\text{Пр} = Q \cdot 0,8V_{\text{осв}} + 0,3L_{\text{осв}}$$

где  $Q$  — среднесуточный объем очищаемых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $V_{\text{осв}}$  — содержание взвешенных веществ в осветленной воде после первичных отстойников, мг/дм<sup>3</sup>;  $L_{\text{осв}}$  — БПК<sub>полн</sub> в осветленных водах после первичных отстойников во взболтанной пробе, мг/дм<sup>3</sup>.

Для окситенков коэффициент прироста ила за счет изъятия БПК снижается до 0,25 ( $0,25L_{\text{осв}}$ ).

Для низконагружаемых сооружений дополнительно следует учитывать ежесуточные потери за счет самоокисления ила (эндогенного окисления). Самоокисление ила зависит от температуры и приблизительно составляет: при температуре 17 °С — 4 %; 13 °С — 3 %; 8 °С — 2 % от общей биомассы ила (Яковлев, Карюхина, 1980).

Для аэротенков-вытеснителей ежесуточный прирост (Пр, кг/сут) рассчитывается по формуле:

$$\text{Пр} = Q \cdot Y(L_{\text{пост}} - L_{\text{очищ}}) \cdot 10^{-3}, \text{ кг/г}$$

где  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $Y$  — показатель, учитывающий скорости превращения утилизируемой органики в биомассу, кг/кг;  $L_{\text{пост}}$  — содержание органики, характеризуемой показателем БПК<sub>5</sub> в поступающих на очистку сточных водах, г/м<sup>3</sup>;  $L_{\text{очищ}}$  — то же в очищенных водах, г/м<sup>3</sup>;  $10^{-3}$  — постоянный коэффициент, переводящий г в кг.

Показатель ( $Y$ , г/г), учитывающий скорость превращения утилизируемой органики в биомассу рассчитывается по формуле:

$$Y = \frac{N}{1 + k_d \cdot B}$$

где  $N$  — нагрузки по БПК<sub>5</sub> на ил, кг/кг;  $B$  — возраст ила, сут;  $k_d$  — константа скорости эндогенного окисления, которая составляет от 0,025 до 0,075 сут<sup>-1</sup>, обычно принимается в расчетах 0,06 сут<sup>-1</sup>.

**Микробиологические методы очистки воды**



## *Регенерация активного ила*

Основная масса активного ила, отстаивающегося во вторичном отстойнике, должна перекачиваться снова в аэротенк. Это циркуляционный активный ил, который попадает в аэротенк через регенератор. Как правило, ила во вторичном отстойнике собирается больше, чем нужно для циркуляции, поэтому его избыток направляется на утилизацию.

Чтобы регенерация ила проходила полноценно, необходимо выполнить три основных условия: в регенератор не должны поступать осветленные сточные воды, непосредственно в него должен направляться возвратный ил (что обеспечивает более высокую концентрацию активного ила, в сравнении с аэротенками), и в регенератор должно подаваться в два раза больше воздуха, чем в другие коридоры аэротенков.

Сущность системы регенерации заключается в том, что из общего процесса окисления загрязняющих веществ на стадии регенерации ила выделяются в самостоятельные следующие процессы:

- процесс окисления сложноокисляемой органики, сорбированной на иле и процесс полного удаления нерастворенных примесей из очищаемой воды;
- процесс восстановления активного ила.

Поэтому регенерация требует увеличения времени пребывания ила в системе до 8-18 и более часов по сравнению с процессом окисления загрязнений, который продолжается в аэротенках от 2 до 6 часов.

Благодаря процессу регенерации ила, если он удовлетворительно обеспечивается, происходит восстановление окислительных свойств активного ила и инактивация неблагоприятного воздействия на ил:

- \* **токсикантов, инертных к биоокислению, но аккумулярованных в иле (металлы, пестициды и т.д.);**
- \* **токсикантов полностью или частично окисляемых (нефтепродукты, СПАВ);**
- \* **биодоступных, но сложноокисляемых веществ, сорбированных на иле (фенолы и т.п.).**

Все эти вещества или доокисляются или депонируются и инактивируются в иле в процессе регенерации. Механизм регенерации до конца не ясен, однако понятно, что за счет исключения удаления ранее сорбированных на иле загрязняющих веществ (сточные воды в регенератор не подаются) и избытка подаваемого кислорода происходит:

- восстановление заблокированных токсикантами дыхательных пигментов и ферментов ила;
- депонирование в биополимерном геле инертных токсикантов;
- последовательный гидролиз и потребление сложноокисляемой органики за счет продленного времени пребывания

ила в системе  
**Микробиологические методы очистки воды**

## *Регенерация активного ила*

В соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85 при поступлении сточных вод с БПК<sub>полн</sub>, равным 150 мг/дм<sup>3</sup> и более, а также при наличии вредных производственных примесей необходимо обязательно применять регенерацию.

Регенератор может быть или отдельно стоящий или занимать один, два, три коридора аэротенка.

В зависимости от того, какой объем аэротенков от общего выделен под регенерацию, устанавливается процент регенерации. Если в трехкоридорном аэротенке под регенератор выделен один коридор, то система работает в условиях 33% регенерации ила, если половина объема всех коридоров в четырехкоридорном аэротенке выделяется под регенератор, то 50 % регенерации ила и т.д. Существуют конструкции двухкоридорных аэротенков-вытеснителей с рассредоточенным впуском сточных вод, где процент регенерации можно изменять от 20 до 75 %. Но на таких сооружениях регенерацию нельзя считать полноценной, поскольку ил в регенераторе непосредственно контактирует с поступающими на очистку сточными водами.

На современных сооружениях биологической очистки, при наличии значительного количества сложноокисляемых промышленных примесей, для обеспечения высокого качества очистки и устойчивой работы биологических реакторов необходимо под регенераторы выделять не менее 50 % от общего объема аэротенков.

Применение регенераторов приводит к повышению производительности аэротенков, что происходит по следующим причинам:

**доза активного ила в регенераторе поддерживается в 2-3 раза большая, чем в аэротенке, поэтому окисление идет интенсивнее;**

**увеличивается число активно функционирующих бактерий, которые были подавлены в аэротенках неблагоприятным воздействием на них поступающих сточных вод;**

**улучшаются седиментационные характеристики ила за счет снижения удельных нагрузок на ил, улучшения свойств гелеобразующей микрофлоры, флокулообразования и вытеснения нитчатых форм микроорганизмов;**

**повышенная подача воздуха улучшает перемешивание ила и снабжение его кислородом;**

**в системе с регенератором окислительная мощность аэротенков выше, общая масса ила и его возраст больше, а, следовательно, возможна нитрификация и повышена устойчивость ила к аварийным сбросам и токсикантам.**

Вместе с тем, в системах с регенераторами уменьшается прирост ила, и улучшаются его влагоотдающие свойства, что имеет существенное значение на стадии утилизации избыточного ила.

**Микробиологические методы очистки воды**

## *Регенерация активного ила*

Полноценность регенерации обеспечивается удовлетворительной эксплуатацией сооружений и, в первую очередь, своевременным удалением избыточного активного ила из вторичных отстойников. Даже в условиях удовлетворительной циркуляции ила из отстойника, он поступает в регенератор с повышенной кислородпоглощаемостью, поскольку находится на дне вторичного отстойника в норме до 40 мин (ил не выносит залежей, даже непродолжительных, за счет высокого уровня метаболизма и накопления разнообразных газов внутри хлопьев). По причине поступления в регенератор активного ила с высокой кислородпоглощаемостью из вторичных отстойников, даже более интенсивная подача воздуха в регенераторы не позволяет получить содержания растворенного кислорода в них выше, чем в аэротенках. Чем существеннее залежи во вторичных отстойниках (при нарушении циркуляции возвратного ила), тем больше наблюдаемый дефицит растворенного кислорода в регенераторе.

## Рециркуляционный ил. Степень рециркуляции

Скорость потока сточных вод через сооружения биологической очистки такова, что довольно значительная часть активного ила выносится с очищенной водой в водоем. Вынос рассчитывается с учетом объема очищаемых сточных вод и количества взвешенных веществ, присутствующих в очищенной воде. Для непрерывного поддержания необходимого количества биомассы активного ила в аэротенках требуется частичная рециркуляция - возврат биомассы из отстойника в аэротенк, что позволяет обеспечить условия, когда скорость разбавления не превышает скорости роста микроорганизмов.

Объем возвратного ила, удаляемого из вторичных отстойников и направляемого в регенератор, составляет от 30 до 70 % от объема очищаемых сточных вод. Для каждого очистного сооружения этот показатель индивидуален и определяется расчетом как степень рециркуляции:

$$R = \frac{a_{cp}}{1000/I - a_{cp}} \quad (1)$$

где  $R$  — рециркуляционное отношение возвратного ила к расходу очищаемых сточных вод;  $I$  — иловый индекс (определяется в пробе, отобранной в конце зоны аэрации),  $\text{см}^3/\text{г}$ .

В формуле (1) коэффициент 1000 переводит кубические дециметры в кубические сантиметры и имеет размерность  $\text{см}^3/\text{дм}^3$ ;  $a_{cp}$  — средняя доза ила,  $\text{г}/\text{дм}^3$ , которая вычисляется с учетом дозы по массе ила во всех коридорах аэротенков и регенераторов:

$$a_{cp} = \frac{W_1 \cdot a_1 + W_2 \cdot a_2 + W_3 \cdot a_3}{W_1 + W_2 + W_3}$$

где  $W_1, W_2, W_3$  — объемы коридоров аэротенков и регенераторов,  $\text{м}^3$ ;  $a_1, a_2, a_3$  — доза активного ила в каждом коридоре,  $\text{г}/\text{дм}^3$ .

## ***Возраст активного ила***

Эффективность очистки зависит от структуры и биологических свойств активного ила. Структура хлопьев ила — это компактность, плотность, размер и флокулирующие свойства. Биологические свойства ила — это количество и качество жизни в нем, ферментативная активность, типы организмов, видовое разнообразие и т.д.

Активные свойства ила зависят от его возраста. Возраст активного ила — среднее время пребывания хлопьев ила в системе «аэротенк — вторичный отстойник». Его величина обратно пропорциональна скорости прироста ила. Чем больше нагрузки на ил, тем больше его прирост и больше объем образующегося избыточного ила, который отгружается и поэтому быстрее обменивается, следовательно, возраст ила уменьшается. При возрастании выноса ила уменьшается его прирост, ослабляются окислительные свойства, и сокращается скорость извлечения субстрата: возраст ила увеличивается. Таким образом, все неблагоприятные факторы, способствующие перегрузке активного ила по органическим загрязняющим веществам и избыточному выносу ила из вторичных отстойников, приводят, прежде всего, к изменению возраста активного ила.

Если время пребывания сточных вод в аэротенке колеблется от 3 до 30 ч, то время пребывания активного ила намного больше и измеряется сутками. Другими словами, если сточные воды проходят через аэротенк только один раз и довольно быстро, образующаяся биомасса неоднократно возвращается из вторичного отстойника и в результате ее время пребывания в системе значительно больше, чем время пребывания очищаемых сточных вод.

К хлопьям активного ила предъявляются следующие требования: они должны эффективно извлекать загрязняющие вещества из воды, а сами хорошо отделяться от очищенной воды осадением. Эти два свойства не обязательно связаны между собой.

Молодые, активно растущие хлопья, способны быстро извлекать загрязняющие вещества, но могут иметь недостаточные свойства осадения; вместе с тем, хорошо оседающий ил, может иметь пониженную способность к ферментативному окислению загрязняющих веществ. В пусковой период работы очистных сооружений бактерии вначале свободно рассеяны, затем слипаются в хлопья, которые развиваются с возрастом ила. Иногда при очистке сложных промстоков хлопьев вообще не образуется (так как в иле доминируют виды бактерий, способные очищать эти загрязнения, но не способные к флокуляции). Так, например, при очистке фенолсодержащих сточных вод аэрация приводит к заметному снижению содержания фенолов, но хлопья активного ила при этом мелкие, а диспергированные бактерии придают мутность и высокое содержание органических загрязняющих веществ, характеризуемых показателем БПК в очищенных водах. Такие воды предпочтительно доочищать в биопрудах.

**Микробиологические методы очистки воды**

## ***Возраст активного ила***

По мере того, как хлопья растут и стареют, они в большей степени состоят из мертвых клеток и аккумуляированных инертных частиц (мертвые клетки тоже чистят воду своими энзимами, но хуже и непродолжительно). Хорошее окисление могут производить только активные живые клетки. Таким образом, происходит снижение главной активности хлопьев по мере их старения, хлопья увеличиваются в размере, лучше сорбируют загрязнения, лучше защищены биополимерным гелем от токсикантов, лучше отделяются от очищенной воды при отстаивании, однако в стареющих хлопьях снижается относительная численность активных живых клеток, соответственно, сила окисления загрязнений. При увеличении размера хлопьев ила ухудшается доступ кислорода к отдельным бактериальным клеткам, снижается окислительная способность ила и затрудняется отведение метаболитов, т.е. ухудшается режим массообмена клеток с окружающей средой.

Оптимальный возраст ила учитывает и ферментативную активность хлопьев, и способность их к осаждению. Молодые хлопья плохо флокулируют, старые хлопья менее активны, но хорошо оседают. Оптимум лежит между этими крайними состояниями.

Очистные сооружения должны работать на максимально возможной концентрации ила, при которой обеспечивается как достаточное снабжение хлопьев ила растворенным кислородом, так и удовлетворительная работа вторичных отстойников.

Качество очищенной воды может быть постоянным независимо от концентрации загрязняющих веществ и расхода поступающей воды. Это достигается поддержанием постоянного возраста ила, что обеспечивается чисто гидравлическим путем, а именно — удалением из системы необходимого количества избыточного ила. Повышение концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах компенсируются повышением прироста ила, соответственным повышением его концентрации и, тем самым, сохранением постоянной нагрузки на ил.

Высоконагружаемые сооружения работают на неполную очистку с возрастом ила не более 2-3 суток. С низкими нагрузками на ил связана нитрификация и большой возраст ила (6-12 суток).

Возраст ила более 8 суток обеспечивает глубокую минерализацию органических веществ с последующей нитрификацией. Чем сложнее состав сточных вод, тем больший возраст ила требуется поддерживать для обеспечения удовлетворительного окисления загрязняющих веществ. Так, для биохимической очистки сточных вод при производстве синтетического каучука требуемый возраст ила составляет 20-30 суток, а поливинилового спирта — более 50 суток.

**Микробиологические методы очистки воды**

## Возраст активного ила

Для вычисления возраста ила предложено несколько формул (он выражается в любом случае в сутках), наиболее употребляемая из которых определяет возраст как частное от общего количества ила и его прироста в сутки:

$$\text{Возраст ила} = a_{\text{ср}} \cdot T \cdot 1000 / (\text{прирост ила} \cdot 24) \quad , \quad (2)$$

где  $T$  — период аэрации, ч;  $a_{\text{ср}}$  — средняя доза ила, г/дм<sup>3</sup>; прирост ила, мг/дм<sup>3</sup>; коэффициент 1000 переводит граммы в миллиграммы и имеет размерность мг/г.

Если прирост ила дается в г/дм<sup>3</sup>, то в формуле (2) коэффициент 1000 отсутствует.

Формула расчета возраста ила с учетом расхода избыточного ила принимает вид:

$$\text{Возраст ила} = a_{\text{ср}} \cdot W / (Q - q_{\text{изб}}) \cdot V + q_{\text{изб}} \cdot a_{\text{изб}} \quad , \quad (3)$$

где  $W$  — объем аэрируемых сооружений, м<sup>3</sup>;  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $q_{\text{изб}}$  - расход избыточного ила, м<sup>3</sup>/сут;  $V$  - содержание взвешенных веществ в очищенной воде после вторичных отстойников, кг/м<sup>3</sup> или мг/дм<sup>3</sup>;  $a_{\text{ср}}$  - средняя доза ила, г/дм<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;  $a_{\text{изб}}$  - концентрация избыточного ила, мг/дм<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (3) следует, что возрастом ила можно управлять, изменяя расход избыточного ила.

В практике эксплуатации сооружений биологической очистки оптимальный возраст активного ила определяется не только расчетом, но и результатами наблюдений за эффективностью очистки сточных вод в условиях поддержания разного возраста. Оптимальный возраст должен обеспечивать наилучший результат эффективности очистки сточных вод.

## Эффективность очистки сточных вод в условиях поддержания разного возраста активного ила (данные очистки сточных вод ОАО «Каустик»)

		Показатели загрязнения сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>							Прозрачность по Снеллену, см
		ХПК	Фенол	Анилин	NH <sub>4</sub> (N)	NO <sub>2</sub> (N)	NO <sub>3</sub> (N)	БПК <sub>полн</sub>	
Возраст ила: 3-5 сут									
Поступающие на очистку воды	на	480	15	30	44	н/о	н/о	120	-
Очищенные воды		100	0.2	1.5	20	8.6	4.3	15.6	12
Возраст ила: 7-10 сут									
Поступающие на очистку воды	на	540	16	29	40	н/о	н/о	144	-
Очищенные воды		60	0,05	0,5	4	1.2	22	8.4	>30
Возраст ила: 15-20 сут									
Поступающие на очистку воды	на	520	18	32	41	н/о	н/о	138	
Очищенные воды		80	0,009	0.4	4	0,8	24	12.9	22

Из таблицы видно, что оптимальный возраст для данных очистных сооружений составляет 7-10 суток, поскольку при этих его значениях обеспечивается наиболее эффективное качество очистки по всем обобщенным показателям загрязнения сточных вод (прозрачность, ХПК, БПК<sub>полн</sub>). Однако процессы нитрификации и трансформации сложноокисляемых соединений (фенолы, анилин) протекают несколько эффективнее при поддержании возраста ила 15-20 суток.



## *Нагрузки на аэротенки*

Для целей эксплуатации часто приходится рассчитывать удельные нагрузки (количество загрязняющих веществ, приходящееся на единицу массы активного ила) и нагрузки по загрязняющим веществам, приходящимся на единицу объема очищаемых вод.

Удельные нагрузки лучше всего отражают метаболическое состояние биологической системы, так как определяют характер процесса с активным илом, независимо от периода аэрации или количества очищаемых сточных вод, и выражают отношение: пища/микроорганизмы. Количественно указанное соотношение устанавливается величиной нагрузки на ил — массы подаваемых в сутки загрязняющих веществ (учитываемых величиной БПК) на  $1 \text{ г}$  сухого беззольного вещества ила. Доля беззольного вещества рассчитывается путем вычитания зольности ила из постоянной величины  $100$ . Тогда мы получаем нагрузки непосредственно на живое вещество клеток ила — минерализаторов загрязняющих веществ. Зольность определяется в возвратном иле, поскольку в нем загрязняющие вещества максимально минерализованы. Она зависит от содержания в иле песка и мелких нерастворимых частиц, не удержанных механической очисткой, от глубины минерализации загрязняющих веществ, сорбированных активным илом, и зольности клеток ила, зависящей от его собственной минерализации и состава очищаемых сточных вод.

Добиться той или иной требуемой степени очистки воды и минерализации ила можно путем изменения соотношения количеств подаваемых загрязняющих веществ и работающего в системе ила. Величина нагрузки на  $1 \text{ г}$  активного ила по БПК<sub>5</sub> различна для разных сооружений. Низкие нагрузки — меньше  $150 \text{ мг}$  на  $1 \text{ г}$  беззольного сухого вещества ила; средние —  $200\text{-}350 \text{ мг/г}$ , высокие — более  $400\text{-}900 \text{ мг/г}$ . При нагрузках по БПК<sub>5</sub>  $200\text{-}250 \text{ мг/г}$  аэротенки работают устойчиво, обеспечивая высокое качество очищенных сточных вод, при нагрузках более  $400 \text{ мг/г}$  — работа сооружений становится нестабильной (повышается иловый индекс, ухудшается качество очищенных сточных вод). Считается, что при нагрузках  $50\text{-}150 \text{ мг/г}$  происходит полная нитрификация азота аммонийных солей до нитратов. Однако, это справедливо только в том случае, если низкие нагрузки сопровождаются допустимой нагрузкой по токсикантам, присутствующим в сточных водах и накапливающимся в активном иле в результате биосорбции. При превышении содержания токсических веществ, в промышленных сточных водах, удельная нагрузка по БПК остается низкой, но эффективность очистки падает и снижается видовое разнообразие организмов ила.

Невозможно изменить нагрузки на ил в широких пределах в работающем сооружении. Количество загрязняющих веществ в сточных водах — величина неуправляемая и изменена быть не может. Можно менять лишь среднюю дозу ила в относительно небольших пределах.

**Микробиологические методы очистки воды**

## Расчет нагрузок на аэротенки

Численные значения допустимых концентраций ила сильно колеблются в зависимости от типа аэрационного сооружения, однако для каждого типа аэротенков оптимум лежит в узких пределах (доза ила устанавливается экспериментально). При очистке производственных сточных вод доза ила обычно составляет 2-3 г/дм<sup>3</sup>, считая по сухому веществу. При концентрациях активного ила 3 г/дм<sup>3</sup> и более возникают затруднения с разделением иловой смеси в обычных отстойниках, поэтому при больших нагрузках переходят на работу с регенерацией ила.

Для вычисления нагрузок используются следующие формулы:

1. Удельная нагрузка на 1 г беззольного вещества активного ила по БПК<sub>5</sub> (N<sub>L</sub> г/г в сут):

$$N_L = \frac{L_{\text{осв}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot 100}{a_{\text{ср}} \cdot X \cdot W}, \quad (4)$$

где  $L_{\text{осв}}$  — БПК<sub>5</sub> во взболтанной пробе осветленной воды (после первичных отстойников), мг/дм<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ср}}$  — среднесуточный приток сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $W$  — общий объем всех работающих аэротенков и регенераторов, м<sup>3</sup>;  $X$  — беззольное вещество (100 — зольность возвратного ила);  $a_{\text{ср}}$  — средняя доза активного ила, г/дм<sup>3</sup>, которая вычисляется с учетом дозы во всех коридорах аэротенков и регенераторов.

2. Удельная нагрузка на 1 г беззольного вещества активного ила по взвешенным веществам (N<sub>B</sub> г/г в сут):

$$N_B = \frac{B_{\text{осв}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot 100}{a_{\text{ср}} \cdot X \cdot W}, \quad (5)$$

где  $B_{\text{осв}}$  — содержание взвешенных веществ во взболтанной пробе осветленной воды, мг/дм<sup>3</sup>.

## Расчет нагрузок на аэротенки

3. Удельная нагрузка на 1 м<sup>3</sup> аэротенка по органическим загрязняющим веществам ( $N_W$  г/м<sup>3</sup> в сут):

$$N_W = \frac{L_{\text{осв}} \cdot Q_{\text{ср}}}{W}, \quad (6)$$

4. Удельная нагрузка по органическим загрязняющим веществам на 1 м<sup>3</sup> аэротенка с учетом периода аэрации ( $N_{WT}$  г/г в сут):

$$N_{WT} = \frac{L_{\text{осв}} \cdot Q_{\text{ср}}}{W} \cdot \frac{24}{T}, \quad (7)$$

где  $T$  — период аэрации, ч.

Формула (7) редко используется на практике, однако она хорошо показывает, что нагрузка на единицу объема и период аэрации — взаимосвязанные параметры, зависящие от концентрации загрязняющих веществ в поступающей на очистку воде и от объема аэротенков. Например, если сточные воды с концентрацией по БПК 200 мг/дм<sup>3</sup> поступают в аэротенк с периодом аэрации 24 ч, то получаемая в результате нагрузка на единицу объема составляет 200 г БПК на м<sup>3</sup>/сут. Если период аэрации сократится до 8 ч, то нагрузка на единицу объема возрастет в 3 раза и составит 600 г БПК на м<sup>3</sup>/сут.

Для более точной характеристики удельной нагрузки с учетом беззольного вещества активного ила, концентрации загрязняющих веществ, характеризуемых показателем БПК, объема аэрационных сооружений и периода аэрации используется характеристика удельной нагрузки на 1 г беззольного вещества активного ила по БПК<sub>5</sub> с учетом периода аэрации ( $N_{LT}$ , г/г в сут):

$$N_{LT} = \frac{L_{\text{осв}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot 100}{a_{\text{ср}} \cdot X \cdot W} \cdot \frac{24}{T}, \quad (8)$$

## *Классификация очистных сооружений по основным технологическим параметрам*

Нагрузка по органическому веществу на ил, кг/(кгсут)	Период аэрации, ч	Степень рециркуляции, %	Возраст ила, сут	Качество очищенных сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>
0,065-0,15 (низкая)	20-30	100	более 10	Полное окисление органических загрязняющих веществ с последующей глубокой нитрификацией; БПК < 10, взвешенные вещества < 10, аммонийный азот < 2.0, NO <sub>3</sub> — от 8 до 45,0, удаление органических загрязняющих веществ (БПК) — 95 %
0,15-0,5 (средняя)	6-9	30-70	6-10	От глубокой нитрификации на нижней границе интервала до ее отсутствия на верхней; удаление органических загрязняющих веществ (БПК) — 85-95 %
0,5-9,0 (высокая)	2.5-3	без рециркуляции или до 100	1-3	Высокая скорость удаления БПК на единицу массы ила; очистка только частичная, без нитрификации: дополнительная подача воздуха может значительно улучшить качество очистки; удаление органических загрязняющих веществ (БПК) — 85-90 %

## Окислительная мощность аэротенков

Окислительная мощность аэротенков — это количество органических загрязнений, снимаемых в единицу времени массой активного ила, находящейся в единице объема аэротенка. Таким образом, окислительная мощность является как показателем нагрузки на активный ил, так и показателем удельной скорости ее окисления, т.е. потенциальной эффективности разложения органических загрязняющих веществ для данных условий.

Окислительная мощность ( $G$ , кг/(м<sup>3</sup> · сут)) вычисляется по формуле:

$$G = 24 \cdot a_{\text{cp}} \cdot X \cdot \rho \quad (9)$$

где  $X$  — доля беззольного вещества ила, безразмерная величина; 24 — постоянный коэффициент, служащий для перевода  $G$  из размерности кг/(м<sup>3</sup>·ч) в кг/(м<sup>3</sup>·сут);  $\rho$  — удельная скорость окисления загрязняющих веществ, г/(г·час), вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{L_{\text{осв}} - L_{\text{очищ}}}{a_{\text{cp}} \cdot (1-S) \cdot T} \quad (10)$$

где  $L_{\text{осв}}$  — биохимическое потребление кислорода первичных отстойников, мг/дм<sup>3</sup>;  $L_{\text{очищ}}$  — биохимическое потребление кислорода после вторичных отстойников, мг/дм<sup>3</sup>;  $a_{\text{cp}}$  — средняя доза активного ила, г/дм<sup>3</sup>;  $S$  — зольность ила;  $T$  — период аэрации, ч.

Окислительная мощность аэротенков на городских сооружениях биологической очистки может изменяться от 0,1 до 1,5 кг/(м<sup>3</sup>·сут).

Поскольку в расчетной формуле окислительной мощности используется несколько очень важных параметров процесса биологической очистки (нагрузка по органическим загрязняющим веществам, удельная скорость окисления загрязняющих веществ с учетом периода аэрации) эта характеристика наиболее правильно отражает возможную эффективность изъятия загрязняющих веществ и условия процесса: влияние промышленных токсикантов и время биохимического окисления. Окислительная мощность аэротенков является основным технологическим параметром, определяющим уровень развития биоценоза активного ила на городских сооружениях биологической очистки.