

АКТИВНЫЙ ИЛ В ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Активный ил – это сложная экосистема, на которую влияют внешние факторы и изменения в ее составе. Являясь живой суспензией, в процессе своей жизнедеятельности активный ил способен использовать в качестве источника энергии и питательных веществ некоторые загрязняющие вещества из сточных вод, тем самым приводя к их очистке.

Содержимое активного ила

Активный ил – живая суспензия микроорганизмов, в которой преобладают гетеротрофные бактерии и простейшие. Помимо них в нем могут жить коловратки, нематоды, водоросли, грибы и личинки насекомых. Они накапливаются на поверхности органических остатков, которые встречаются в сточных водах.

Эти организмы очень быстро размножаются – органические загрязнения сточных вод являются для них источником пищи, поэтому они уменьшают содержание этих загрязнений в воде, минерализуя сточные воды в аэробных условиях. В состав активного ила входят:

- бактерии рода *Pseudomonas*, *Acinetobacterium*, *Aeromonas*, *Zooglea*, *Enterobacteriae*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus*;
- простейшие инфузории рода *Vorticella*, *Paramecium*, *Aspidisca*, *Suctoria*;
- динофлагелляты рода *Trigonomonas*, *Tetramitus*, *Vodo*.

На первом этапе сточные воды попадают в отстойники, где происходит отделение взвешенных веществ от основного потока, а затем переходят в камеры биореакторов. Именно здесь, в условиях, специально созданных для микроорганизмов, протекают биологические процессы.

Присутствующие бактерии при правильных условиях разлагают органические загрязнители.

Условия регенерации

Образование активного ила на очистных сооружениях – непрерывный процесс. Использование биохимических и частично физических процессов для очистки сточных вод позволяет добиться снижения количества органических веществ.

Биологическая очистка происходит как в аэробных, так и в анаэробных условиях и состоит из окисления и минерализации органических соединений, содержащихся в сточных водах, при участии микроорганизмов. Принцип очистки такой же, как и при естественном самоочищении водоемов. Микроорганизмы используют соединения, содержащиеся в сточных водах, в качестве пищи и энергии для обмена веществ.

Разница заключается в создании оптимальных условий для протекания процесса (наличие кислорода, среды, механическое перемешивание, температура, pH и др.), которые повышают скорость и эффективность процесса.

Выходящая из биореактора смесь активного ила и очищенных сточных вод разделяется во вторичном отстойнике. Этот осадок является

избыточным активным илом. Работа системы очистки сточных вод может осложниться избыточным ростом бактерий. Это проявляется в образовании пены. При необходимости часть избыточного активного ила можно повторно транспортировать в биореактор. Остальное подлежит утилизации.

Требуемая концентрация

Содержание активного ила в нормально функционирующих аэротенках необходимо поддерживать в диапазоне 1,5–2,5 г/дм³ сухого вещества. При попадании сточных вод и рециркуляционного ила в первый резервуар изначальная концентрация осадка обычно повышенная и составляет 3–6,3 г/дм³.

Последующее активное изъятие микроорганизмами органических субстратов приводит к еще большему ее увеличению, однако благодаря процессу аэрации на выходе она стабилизируется на уровне 3,1–4,9 г/дм³.

Специфика биологической очистки сточных вод

Очистка сточных вод с участием активного ила заключается в биосорбции и окислении или уменьшении загрязняющих примесей микроорганизмами. Во всех методах биологической очистки сточных вод используются следующие процессы:

- разложение органических веществ до CO₂, H₂O и NH₃;
- нитрификация, то есть окисление NH₃ бактериями Nitrosomonas до нитритов, а затем с помощью бактерий Nitrobacter для нитратов;
- денитрификация – превращение нитратов в газообразный азот N₂.

Чтобы метод очистки с помощью активного ила был максимально эффективным, необходимо учитывать несколько факторов.

1. Основная роль активного ила в процессе очистки сточных вод заключается в выработке бактериями многочисленных ферментов (дегидрогеназ), которые являются катализаторами любых преобразований, поэтому важна высокая ферментативная активность бактерий.

2. Токсичные соединения подавляют активность бактерий, ограничивая их способность очищать сточные воды. Большинство бактерий группы гетеротрофов обладают способностью функционировать как аэробно, так и анаэробно.

3. В аэробных условиях бактерии используют атмосферный кислород в качестве конечного

акцептора электронов, а в анаэробных – нитриты и нитраты.

Аэротенк представляет собой резервуар, выполняющий функцию биореактора активного ила. Его содержимое перемешивается с заданной интенсивностью. На дне резервуара размещается система перфорированных труб, по которым проходит воздух, насыщающий кислородом сточные воды. Небольшой диаметр отверстий позволяет (в предположении) получить мелко-дисперсную оксигенацию.

Кислород является основным субстратом биореакций, происходящих в аэробных процессах очистки сточных вод. Внутри реактора находятся сточные воды, очищенные анаэробным способом. После завершения процесса аэрации сточные воды направляются во вторичный отстойник, где происходит отделение активного ила от жидкости.

Избыточный активный ил подвергается обезвоживанию и сушке, жидкость перемещается в приемники, а затем сбрасывается в естественные потоки. Преимуществом очистки с помощью активного ила является высокая эффективность. Недостаток – чувствительность микроорганизмов к токсическим соединениям и другим факторам, влияющим на их развитие.

Контроль концентрации активного ила

Очистные сооружения оснащены датчиками температуры, pH и концентрации кислорода, растворенного в сточных водах. Измерение температуры и pH имеет вспомогательное значение, измерения концентрации кислорода



в зависимости от времени позволяют оценить ход реакций, происходящих на очистных сооружениях.

Измерительный набор позволяет самостоятельно записывать результаты измерений концентрации растворенного кислорода в реакторах. Индикаторные микроорганизмы, которые сосуществуют с бактериями, – простейшие. Их роль второстепенная, но важная:

- являются показателем качества очистки сточных вод активными осадками;
- простейшие, которые питаются бактериальными клетками, заставляют бактерии размножаться, что активизирует активный ил;
- во вторичном отстойнике простейшие очищают сточные воды, поедая медленно плавающие бактерии.

Кроме того, в сточных водах присутствуют бактерии типа *Chloroflexi* (названные нитевидными из-за значительно удлинённой узкой формы их клеток). На данный момент известно около 80 видов нитевидных бактерий, обитающих в активном осадке. Чрезмерный рост отдельных групп этих бактерий может быть связан с температурой и временем года, составом сточных вод, уровнем их нагрузки.

Наиболее частой причиной чрезмерного роста нитевидных бактерий на очистных сооружениях может быть:

- подача сточных вод с избыточным количеством соединений серы, например из канализационных сетей с высокой нагрузкой и низкой оксигенацией;
- нарушение соотношения C:P:N, особенно дефицит фосфора и азота при избытке углерода, или кислый pH – ниже 6,5.

Чрезмерное развитие нитевидных бактерий является причиной плохого оседания

активного ила, увеличения объема ила, вытекания из реактора, образования пены. Наличие этих изменений значительно ухудшает эффективность очистки сточных вод.

Есть несколько способов борьбы с этим явлением. С этой целью:

- увеличивается аэрация сточных вод;
- используются технологические решения, такие как сокращение возраста осадка, снижение температуры сточных вод ниже 18 °С, что не всегда возможно, особенно в случае очистных сооружений с затруднённой нитрификацией;
- применяются химические растворы (хлорирование, известкование сточных вод негашеной известью или гидроксидом кальция, используются коагулянты и синтетические органические полимеры), что связано с введением большого количества химических средств и технологических модификаций.

Между популяцией нитевидных бактерий и инфузорий существует обратная зависимость. Большое количество жгутиковых указывает на перегрузку осадка, в то время как инфузории указывают на правильные условия для активного осадка.

Утилизация активного ила

Мокрое окисление – это современный способ удаления избыточного активного ила, характеризующегося большим микробным загрязнением или содержащего вредные для окружающей среды неразлагаемые органические соединения. В последние годы процесс стал привлекательной альтернативой традиционным способам механического удаления отложений с биологических очистных сооружений.

Этот метод заключается в окислении суспензии избыточного активного ила кислородом при температуре 200–250 °С и давлении 2,0–10,0 МПа. В этих условиях клетки активного ила и их агломераты подвергаются термическому разрушению и распаду, а органические соединения в растворе окисляются в основном до CO₂ и воды.

Механизм окисления активного ила очень сложен, однако известно, что в таких случаях мы обычно имеем дело с двумя параллельными процессами. Первый из этих процессов – термогидролиз активного ила. При повышенной температуре происходит распад клеток осадка, что приводит к высвобождению значительного количества биологического материала, накопленного в клетках микроорганизмов.



Это значительно повышает содержание общего органического углерода (ООУ) в водной фазе. Например, при температуре 150 °С около 25 % органического углерода, образующего первоначально активный осадок, постепенно растворяется и переходит в раствор, что приводит к соответствующему увеличению концентрации ООУ в жидкой фазе.

Повышение температуры процесса увеличивает скорость реакции и степень преобразования твердой фазы, поэтому при 250 °С степень превращения достигает значения более 50 %. Растворение активного ила является результатом процесса гидролиза сложных органических соединений, из которых состоит активный ил (полисахариды, липиды и белки).

Эти соединения при повышенной температуре и в присутствии воды образуют соответствующие моно- и олигомеры, которые растворяются в жидкой фазе. Кроме того, при нагревании избыточного осадка при достаточно высокой температуре наблюдается также распад этих органических соединений путем реакции элиминации простых газообразных молекул, таких как CO_2 , CO , CH_4 и CH_3OH .

С момента введения в реакционную систему окислителя (в большинстве случаев это газообразный кислород или воздух) в системе начинает протекать второй из упомянутых выше процессов – деструктивное окисление органических соединений. Это окисление приводит к образованию CO_2 , воды и небольшого количества низкомолекулярных органических кислот, таких как уксусная кислота или муравьиная кислота.

Восстановленные формы серы, присутствующие в органических соединениях, легко окисляются до сульфатов, тогда как окисление органических азотсодержащих соединений приводит к образованию аммиака или азота.

Параллельно с основными свободнорадикальными реакциями в реакционной системе протекают и другие реакции, например нуклеофильная замена или реакции перегруппировки, в которых участвуют активные компоненты реакционной смеси. В процессе происходит быстрое и полное растворение органического углерода, образующего твердую фазу.

В течение первых нескольких минут реакции более 99 % органического углерода, образующего активный осадок, растворяется, что приводит к резкому увеличению концентрации органического углерода в жидкой фазе. Затем растворенные в воде органические соединения минерализуются по описанному выше



механизму с образованием CO_2 , воды и низкомолекулярных органических кислот.

Еще одна операция – многофазная очистка методом активного ила в односадовой системе циркуляционных камер с внутренней рециркуляцией (восстановление биогенных соединений биологическим путем, без применения химических реагентов).

Большая глубина камер, поверхностный способ аэрации с интенсивным перемешиванием заставляют сточные воды проходить через зоны с различным окислительно-восстановительным потенциалом и чередующимися процессами биологической дефосфатации, нитрификации и денитрификации.

Затем осуществляется окончательное осаждение и двухступенчатое уплотнение осадка с внутренней рециркуляцией – самовсасывающей из отстойника и принудительной с помощью погружных насосов из глубоких осадочных бункеров. Обезвоживание осадка происходит механически.

Условия для оптимального функционирования активного ила

Подбирая подходящие технологические решения, на небольшом пространстве (в воздушных реакторах) можно создать оптимальные условия жизни для микроорганизмов и обеспечить им питание, соответствующую температуру, рН и, что наиболее важно, доступ кислорода. После периода пуска очистных сооружений в сточных водах, осадках и биологической мембране начинает образовываться биоценоз, адаптированный своим составом к составу поступающих загрязняющих веществ, условиям их разложения и восстановления.

Микробы перерабатывают высокоэнергетические высокомолекулярные соединения, содержащиеся в сточных водах, в промежуточные соединения и низкоэнергетические молекулы – углекислый газ и воду. Полученную в процессе энергию микроорганизмы используют во время собственного обмена веществ и для размножения.

Прирост активного ила происходит при чрезмерной концентрации примесей вследствие развития и сильного доминирования нитевидных бактерий. Осадок не смешивается со сточными водами и плавает по поверхности. Регулярное проведение испытаний активного ила позволяет оценить условия в камере аэрации.

Благодаря этому вы также убедитесь, что процесс очистки не нарушен и что активный ил не перегружен действием токсичных веществ. Проверка эффективности очистных сооружений заключается в проведении испытания активного ила. Осадочный тест состоит из сбора сточных вод в сочетании с активным осадком во время процесса оксигенации биореактора.

Сточные воды следует перелить в стеклянную емкость и оставить в темном месте на час. Осадок оценивается визуально. Должна быть различима разделительная линия между очищенной водой и осадком. Лучше всего, чтобы вода была прозрачной и без запаха. Осадок, с другой стороны, должен иметь форму характерного ворса.

Кроме того, важно, чтобы его цвет не был слишком темным, так как это может свидетельствовать о высоком загрязнении. Также важен запах – желательна свежесть и землистый. Испытание активного ила следует проводить не реже одного раза в квартал.

Количество активного ила в септике

Очистка сточных вод с помощью активного ила заключается в создании в объеме сточных

вод хлопьев размером 50–100 мкм с очень сильно развитой поверхностью. Хлопья состоят из минерального ядра коричневого или бежевого цвета, а на поверхности содержат многочисленные бактерии из группы гетеротрофов.

Органические примеси поглощаются на поверхности хлопьев и минерализуются в результате процессов метаболизма, происходящих в микроорганизмах. Чтобы обеспечить надлежащее протекание процесса, активный ил должен равномерно переноситься в массу сточных вод, протекающих через аэрационную камеру. Метод активного ила требует подачи кислорода для биоокисления органических загрязнителей.

Чтобы гарантировать аэробные условия для бактерий, концентрация кислорода, растворенного в сточных водах, должна составлять $> 0,5 \text{ мг/дм}^3$. Образование активного ила в аэрационной камере требует времени. Чтобы сократить это время, можно добавлять некоторое количество активного ила из ранее очищенных сточных вод.

Постоянное поддержание хлопьев ила во взвешенном состоянии требует интенсивного перемешивания содержимого реактора. Используются различные методы от механического перемешивания до аэрационных форсунок, которые сочетают в работе функцию мешалок и аэраторов (аэрационных турбин), а также и то и другое вместе.

Процесс смешивания и аэрации является энергоемким. Современные конструкции мешалок и аэраторов путем правильного выбора форм лопастей и насадок обеспечивают так называемую мелкопузырьковую аэрацию, что повышает эффективность работы при оптимальном потреблении электроэнергии.

Большинство процессов биологической очистки осуществляется в одном многофункциональном резервуаре. Все оборудование, постоянно погруженное под жидкое зеркало, изготовлено из неагрессивных материалов (в первую очередь – пластмассы, а крепежные элементы – из неагрессивной качественной стали). Элементы над зеркалом сточных вод изготовлены из стали обычного качества и защищены красками соответствующего сопротивления.

Установка также позволяет химически осадить избыток фосфора в случае необычного соотношения соединений углерода и фосфора и биологически превращать обезвоженный осадок в биогумус с использованием дождевых червей. Также возможно проведение дезинфекции при использовании очищенных сточных вод в качестве источника воды.

Статья предоставлена ГК HELYX