

*Микробиологические
методы
очистки воды
Лекция 7*

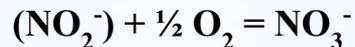
Нитрификация и денитрификация

Нитрификация — процесс окисления кислородом воздуха аммонийного азота до нитритов и нитратов, осуществляемый нитрифицирующими микроорганизмами. На первой стадии процесса нитрификации аммоний окисляется до нитритов, на второй стадии нитриты окисляются до нитратов.

Для процесса нитрификации оптимальная величина рН составляет 7—9; возможна нитрификация и при рН —6—7. Азот в форме аммиака и соединений аммония, получающийся в процессах биогенной азотфиксации, быстро окисляется до нитратов и нитритов. Этот процесс носит название нитрификации, он осуществляется нитрифицирующими бактериями. Однако нет такой бактерии, которая бы прямо превращала аммиак в нитрат. В его окислении всегда участвуют две группы бактерий: одни окисляют аммиак, образуя нитрит, а другие окисляют нитрит в нитрат. Наиболее известные виды нитрифицирующих бактерий — это *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* окисляет аммиак:



Nitrobacter окисляют нитрит:



Бактерии, окисляющие аммиак, поставляют субстрат для бактерий, окисляющих нитрит. Поскольку высокие концентрации аммиака оказывают на *Nitrobacter* токсическое действие, *Nitrosomonas*, используя аммиак и образуя кислоту, тем самым улучшает условия существования для *Nitrobacter*.

Нитрификаторы — граммотрицательные бактерии, принадлежащие к семейству *Nitrobacteracea*. Им не нужны восстановленные соединения углерода для нормального роста и размножения, они способны восстанавливать CO_2 до органических соединений, используя для этого энергию окисления минеральных соединений азота- аммиака и нитритов. То есть нитрификаторы - бактерии, которые способны питаться исключительно неорганическими соединениями и осуществляют процесс хемосинтеза, синтеза органических соединений из минеральных. Хемосинтез - путь усвоения живыми существами неорганического углерода, альтернативный фотосинтезу. Растения используют нитраты для образования разных органических веществ. Животные потребляют с пищей растительные белки, аминокислоты и др. азотсодержащие вещества. Таким образом, растения делают органический азот доступным для других организмов-консументов.

Все живые организмы поставляют азот в окружающую среду. С одной стороны, все они выделяют в ходе жизнедеятельности продукты азотистого обмена: аммиак, мочевину и мочевую кислоту. Последние два соединения разлагаются в почве с образованием аммиака (который при растворении в воде даёт ионы аммония).

Микробиологические методы очистки воды

Нитрификация и денитрификация

Продукты нитрификации — NO_3^- и NO_2^- - в дальнейшем подвергаются денитрификации. Этот процесс целиком происходит благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий, которые обладают способностью восстанавливать нитрат через нитрит до газообразной закиси азота (N_2O) и азота (N_2). Эти газы свободно переходят в атмосферу.



В отсутствие кислорода нитрат служит конечным акцептором водорода. Способность получать энергию путем использования нитрата как конечного акцептора водорода с образованием молекулы азота широко распространена у бактерий. Временные потери азота на ограниченных участках почвы, несомненно, связаны с деятельностью денитрифицирующих бактерий. Таким образом, круговорот азота невозможен без участия почвенной микрофлоры.

Денитрификация — процесс восстановления нитритов и нитратов до свободного азота, который выделяется в атмосферу. Процесс может быть реализован при наличии в воде определенного количества органического субстрата, окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO_2 и H_2O за счет кислорода азотсодержащих соединений. При денитрификации обеспечивается очистка сточных вод одновременно от биологически окисляемых органических соединений и от соединений азота (NO_2^- и NO_3^-). Наиболее эффективно процесс денитрификации протекает при $\text{pH}=7$ — $7,5$; при pH ниже 6 или выше 9 процесс затормаживается.

В качестве органического субстрата в процессе денитрификации могут быть использованы любые биологически окисляемые органические соединения (углеводы, спирты, органические кислоты, продукты распада белков и т. д.). Источником углеродного питания при очистке сточных вод методом денитрификации могут быть сточные воды, прошедшие очистку в первичных отстойниках, а также органические производственные стоки, предпочтительно не содержащие азота.

Необходимое соотношение величины БПК в сточных водах к нитратному азоту примерно равно 4:1. Для процессов **нитрификации и денитрификации** могут быть использованы традиционные сооружения биологической очистки: аэротенки и биофильтры.

Микробиологические методы очистки воды

Компоновка зон с различной аэробностью в аэротенках и биореакторах

Процессы микробиологической очистки сточных вод могут быть эффективными только при правильном подборе времени прохождения воды через зоны, где размещаются разные типы бактерий. Различают 3 основных типа зон аэротенков и биореакторов:

- * *Аноксидная зона - содержание кислорода не более 0,6-0,8 мг/дм³,*
- * *Аэробная зона - содержание кислорода не менее 2,0 мг/дм³, минимальная температура для полной нитрификации - 12 °С,*
- * *Анаэробная зона - полное отсутствие кислорода.*

Эффективность процессов нитрификации и денитрификации зависит от правильного размещения аэробных, аноксидных и анаэробных зон в аэротенках и биореакторах.

Эффективность биологической очистки зависит также от следующих факторов:

- * эффективное извлечение отбросов, песка, взвешенных веществ и промышленных токсикантов из сточных вод на сооружениях механической очистки для создания благоприятных условий функционирования и прироста анаэробного ила;
 - * техническое обеспечение процессов очистки в зонах с разной аэробностью, выбор оптимальных режимов очистки с учетом индивидуального состава сточных вод;
 - * количество и объемы циркулирующих потоков, а также достаточные объемы анокситенков и анаэротенков для их размещения;
 - * оптимальный (достаточный, но не избыточный) возраст активного ила, как аэробного, так и анаэробного;
 - * необходимое содержание органических веществ в очищаемых сточных водах, или предусмотренный способ компенсации их дефицита;
 - * равномерное распределение дополнительной биогенной нагрузки от сооружений обработки осадка и пр.
- Микробиологические методы очистки воды**
Любой фактор может стать определяющей причиной ухудшения качества очистки.

Оптимальные условия проведения процессов нитрификации и денитрификации

Нитрификация, являющаяся наиболее длительным процессом, зависит от концентрации растворенного кислорода. Нитрификацию предложено осуществлять в области средней концентрации растворенного кислорода 2,5-3,0 мг/л. Для нитрификации аммонийного азота бактериями-нитрификаторами в оксидной зоне необходим небольшой избыток растворенного кислорода, предварительное изъятие 50-60% загрязнений по БПК₅, благоприятный температурный режим (T=10-20°).

Условием эффективной денитрификации в аноксидной зоне является отсутствие растворенного кислорода (в объеме иловой смеси или внутри хлопков ила) и обильное снабжение ила ЛОВ в количестве **8-15** г БПК₅ на 1 г денитрифицированного азота. Наиболее экономичным способом является предшествующая денитрификация, базирующаяся на запасе органических веществ в сточных водах.

Оптимальные условия проведения процессов нитрификации и денитрификации

Факультативные анаэробы, обеспечивающие денитрификацию, при содержании растворенного в воде кислорода $1,0 \text{ мг/дм}^3$, не только не функционируют (кислород подавляет у них синтез анаэробного метаболизма), но и не выживают. При температуре $15 \text{ }^\circ\text{C}$, солёности от $5 \text{ }_{\text{00}}^{\text{0}}_{\text{00}}$ до $10 \text{ }_{\text{00}}^{\text{0}}_{\text{00}}$ и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. денитрификация может осуществляться при концентрации растворенного кислорода $0,47 \text{ мг/дм}^3$ и ниже. При температуре $26 \text{ }^\circ\text{C}$ и тех же условиях концентрация кислорода не должна превышать $0,38 \text{ мг/дм}^3$. В загрязнённых сточных водах, при понижении окислительного потенциала, содержание растворенного кислорода может быть повышено для денитрификаторов на десятую долю указанных значений. В воде с низким окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) при высокой концентрации кислорода и при его сильном более 100% насыщении, факультативные анаэробы выживут, если в среде будет находиться достаточное количество восстановителей, характеризующих загрязнённость среды. Более того, на облигатных анаэробов кислород не оказывает губительного действия в тех случаях, когда ОВП среды низкий. Если к среде добавлять восстановительные агенты, снижающие ОВП, то некоторые анаэробные микроорганизмы способны развиваться на таких средах в аэробных условиях. Но для перевода высокого окислительного потенциала аэротенков (до $+ 300 \text{ мВ}$) в восстановительный ($- 200 \text{ мВ}$), потребуется колоссальное количество добавок легкоокисляемых органических веществ. Эти вещества в аэробной зоне будут стремительно окисляться присутствующим кислородом, что невозможно реализовать на практике по финансовым соображениям. Поэтому технология биологического удаления соединений азота и фосфора предусматривает создание аноксидных и анаэробных зон с использованием медленного перемешивания мешалкой для обеспечения бескислородных условий и удаления метаболитов анаэробных организмов.

Оптимальные условия проведения процессов дефосфатизации

Высока чувствительность к присутствию кислорода и уровню ОВП микроорганизмов, ответственных за процесс дефосфотизации:

Ключевым положением технологии дефосфатизации является периодическое выдерживание (экспозиция) организмов ила в условиях зон с разной аэробностью. В результате циклического пребывания ила в переходных условиях (от анаэробных к аэробным) происходит селекция организмов, способных переходить от одного типа метаболизма к другому. Содержание растворенного кислорода в сточных водах разных зон является важнейшим фактором роста. Наилучшими свойствами существования в средах с разной аэробностью обладают нитчатые микроорганизмы, поэтому включение в процесс очистки дополнительной полноценной анаэробной зоны способствует развитию нитчатых организмов в активном иле. Эксплуатация вторичных отстойников в этих условиях усложняется тем, что их объемы предусматриваются в проектах несколько большими, чем в обычном процессе биологической очистки, с учетом высокой вероятности развития вспухания ила. Поэтому все усилия, направленные на накопление фосфора в клетках активного ила, могут быть сведены на нет, — просто неправильной эксплуатацией вторичных отстойников, в которых бактерии отдадут накопленный фосфор в очищенную воду в результате превышения допустимого времени пребывания.

Извлечение растворимых соединений фосфора из очищаемых сточных вод в анаэробных зонах осуществляют строгие анаэробы. Кислород для них—яд в следовых количествах. Недопустимо для них присутствие даже связанного кислорода в соединениях (нитриты, нитраты), для выполнения этих условий и предусматривается аноксидная зона. Незначительное количество нитритов и нитратов в циркулирующих потоках можно обеспечить при наличии хорошо технически оснащенной аноксидной зоны добавками легкоокисляемых органических соединений или подавлением процесса нитрификации в аэробных зонах. Продленная нитрификация, или возможность ее подавления, должны быть, в данной технологии, обеспечены регулируемой подачей воздуха. Глубокое удаление азота и фосфора можно осуществлять только управляемыми системами подачи воздуха.

Микробиологические методы очистки воды

Преферментация и условия ее осуществления

Компенсировать недостаток легкоокисляемых органических веществ для бактерий активного ила можно добавками химических соединений непосредственно в аэротенки, однако это требует существенных затрат. Кроме того, например, наиболее часто применяемый в мире для этих целей метанол — дорогостоящее сырье, он токсичен и легко воспламеняется, что требует особых условий при его транспортировке и хранении. В то же время, скорость денитрификации при добавках метанола и этанола в четыре раза ниже, чем в присутствии летучих жирных кислот (ЛЖК)

Самый простой способ подкормить активный ил и, тем самым, улучшить его свойства и качество очистки, - извлечь питательные вещества из сырого осадка методом его преферментации.

«Преферментация (ацидофикация) - специально организованный процесс образования растворимого, биологически легко доступного органического вещества (летучих жирных кислот) путем анаэробной обработки в первичных резервуарах взвешенного или осажденного органического вещества, содержащегося в муниципальных и промышленных сточных водах, с целью использования полученных ЛЖК для повышения эффективности удаления биогенных элементов».

Анаэробная ферментация сложных органических соединений на сооружениях биологической очистки проходит четыре последовательных стадии (гидролизиса, ацидогенеза, ацетатогенеза и метаногенеза), две первые стадии, с некоторой долей условности, отнесены к процессу преферментации. Разделение стадий ферментации на сооружениях биологической очистки условно, поскольку все они тесно взаимосвязаны и конечные продукты каждой из них могут одновременно присутствовать в сточных водах. Преферментацией принято называть процесс образования в анаэробных условиях короткоцепочечных ЛЖК из комплекса сложных органических соединений, находящихся в сточных водах. Вырабатываются ЛЖК, главным образом, анаэробными бактериями, которые доминируют в составе анаэробного ила.

Микробиологические методы очистки воды

Преферментация и условия ее осуществления

Преферментация или начинается с гидролизиса, в результате которого, высокомолекулярные составляющие (липиды, полисахариды, протеины) трансформируются в продукты, пригодные для использования как источники энергии и клеточного углерода (жирные кислоты, моносахариды, аминокислоты). Продуктами ацидофикации, которая завершает преферментацию, являются низкомолекулярные легко разлагаемые бактериями активного ила органические молекулы. Для удовлетворительного функционирования активного ила нужна не просто органика, а достаточная доля в ней растворимых и биodeградебельных соединений. Способность к микробному разложению органических соединений непосредственно связана с длиной углеродной цепи, поэтому монокарбоновые кислоты или короткоцепочечные ЛЖК, с длиной цепи до 8 атомов углерода, идеальный источник органики для бактерий активного ила. К ЛЖК относятся: **уксусная, пропионовая, изомасляная, масляная, изовалериановая, валериановая, изокапроновая и капроновая кислоты.**

Продукты ацидофикации играют важную, многофункциональную роль в биологической очистке, которую трудно переоценить. Основные процессы, непосредственно зависящие от наличия достаточного количества ЛЖК в очищаемых водах, это:

- * удовлетворительное продуцирование флокулообразующими бактериями биополимерного геля, который определяет седиментационные и защитные свойства активного ила к воздействию токсикантов, а также играет доминирующую роль в накоплении биомассы флокулообразующих (наиболее биохимически активных) микроорганизмов, обеспечении сорбции загрязняющих веществ и их трансформации внутрь микробных клеток;
- * эффективное протекание процессов денитрификации и дефосфотации в аноксидных и анаэробных зонах за счет снижения окислительного потенциала в сточных водах и накопления в клетках бактерий фосфатов;
- * удовлетворительная нитрификация в аэробной зоне за счет снижения потерь нитрификаторов и повышения возраста ила.

Микробиологические методы очистки воды

Оптимальные соотношения ЛЖК и фосфора в сточных водах

Биологическим процессам денитрификации и дефосфатизации способствуют не только ЛЖК, но и попутные продукты ферментации: метанол, этанол, сахара или меласса. Технология биологического извлечения фосфора из сточных вод не может быть успешно реализована без достаточного содержания ЛЖК, поскольку это единственный используемый субстрат, который легко (при помощи прямого осмоса) проникает в клетки фосфорнакапливающих бактерий и тратится ими на потребление и накопление фосфатов. Поэтому эти бактерии, присутствующие в бытовых сточных водах, должны потреблять ЛЖК (в основном уксусную и пропионовую кислоты) в анаэробных условиях. Отсюда важно соотношение ЛЖК: фосфор_{общ} в сточных водах, поступающих в анаэротенк. Первая, предварительная оценка, может быть сделана по соотношению содержания БПК₅ ^{взболтан.} : фосфор_{общ.} в поступающих сточных водах в анаэробную зону. Если это соотношение составляет 20 и более, то можно обеспечить содержание общего фосфора в очищенных сточных водах 1,0 мг/дм³ без использования реагентов и доочистки на фильтрах.

Соотношение БПК _{взболт.} : Р _{общ.}	В очищенных сточных водах: Р _{общ.} мг/дм ³
20 - 30	0,5 - 1,0 макс 2,0
15 - 20	0,5 - 3,0 макс до 3,5
5 - 10	2,0 - 3,0 макс 4,0

Также оценивается благоприятность сточных вод для процесса хлопьеобразования. Чем больше значение ЛЖК в осветленных водах, тем более благоприятны эти сточные воды для процесса хлопьеобразования.

Влияющие на эффективность преферментации факторы

Эффективность преферментации в первичных отстойниках зависит от состава очищаемых сточных вод. Эти процессы более эффективно протекают при высоком содержании органических веществ, характеризуемых показателем ХПК_{фильтр.}, БПК₅ и ЛЖК в поступающих на очистку сточных водах. Если содержание БПК₅ в натуральной пробе в сточных водах, поступающих на решетки, составляет менее 150 мг/дм³, то очень хороших результатов от внедрения преферментации сырого осадка ожидать не следует. Успешность ацидофикации сырого осадка зависит также от сезона года и технического обеспечения процесса преферментации. В осенний, зимний и весенний периоды снижается температура сточных вод, а в сезон дождей повышается содержание растворенного кислорода в сточных водах, поступающих в первичные отстойники. При использовании насосов, обогащающих при циркуляции осадок растворенным кислородом, например, шнековых, образующиеся ЛЖК активно поглощаются и их содержание снижается в осветленных сточных водах.

Продукты преферментации появляются в осветленных сточных водах на первые, вторые или третьи сутки от начала процесса преферментации сырого осадка, и их содержание резко сокращается после максимального накопления ЛЖК, что происходит на 5–8 сутки. Эти сроки изменяются индивидуально на разных очистных сооружениях и зависят от состава сточных вод и их температуры.

Увеличение времени пребывания сырого осадка сверх экспериментально установленного приводит к его уплотнению и повышению концентрации сырого осадка. Наблюдалось максимально допустимое накопление до 100 г/дм³. При такой концентрации сырого осадка в горизонтальных и радиальных отстойниках, если они работают в проектных гидравлических нагрузках, не наблюдается избыточного выноса взвешенных веществ. Это связано с тем, что результатом преферментации является извлечение органических веществ из сырого осадка и перевод их в растворимые формы. При этом существенно изменяются свойства осадка. Уменьшается влажность, улучшается его уплотнение, увеличивается зольность (ее повышение составляет не менее 10–20% от первоначальной) и она возрастает до 45%. Степень повышения зольности зависит от:

- эффективности работы отстойников до использования их под ацидофикаторы,
- содержания органических веществ в сыром осадке,
- от результативности процесса преферментации (выбранного режима и его технического обеспечения). В процессе преферментации объем сырого осадка уменьшается в 1,5–6 раз.

Рекомендации для внедрения процесса преферментации

Факторы, угнетающие процессы преферментации в первичных отстойниках-ацидофикаторах,—это время пребывания, дефицит органического субстрата для образования ЛЖК, насыщение сточных вод кислородом, температура сточных вод и окружающего воздуха, рН сточных вод, концентрация ингибиторов, то есть химический состав сточных вод.

Короткое время пребывания циркулирующего сырого осадка в первичных отстойниках-ацидофикаторах, способствует слабой интенсивности выхода ЛЖК из осадка, а избыточное время пребывания в первичных отстойниках-ацидофикаторах приводит к завершению ацидофикации осадка, повышению рН более 6,3 и началу процесса метаногенеза. Это сопровождается повышением интенсивности образования токсичных для активного ила и ацидофикаторов продуктов: метана, сульфитов, сульфидов, углекислого газа, аммонийного азота (последний не токсичен для ацидофикаторов, но подавляет денитрифицирующих бактерий, что потребует более тщательного выбора зон подачи сточных вод, содержащих продукты ацидофикации). Оптимальное время пребывания сырого осадка в первичных отстойниках–ацидофикаторах определяется экспериментально с построением графика извлечения легкоокисляемой органики из сырого осадка. График уточняется по результатам аналитических определений каждые 2–3 месяца. На его изменение влияют сезоны года (дождливый период, температура очищаемых сточных вод), изменения состава очищаемых сточных вод.

Дефицит органического субстрата, пригодного для образования ЛЖК, в очищаемых сточных водах приводит к низкой эффективности ацидофикации. Для предотвращения извлечения органических веществ из сточных вод на отбросах, в приемных камерах и преаэраторах, необходимо обеспечить прессование отбросов и направление сточных вод после прессования в каналы перед первичными отстойниками.

Рекомендации для внедрения процесса преферментации

Насыщение сточных вод растворенным кислородом на стадии механической очистки. Наличие растворенного кислорода в сточных водах угнетает процесс преферментации и образования ЛЖК, при попадании этих продуктов в аэротенки с осветленными сточными водами, в первые 10–20 минут контакта, они жадно потребляются активным илом и стремительно окисляются растворенным кислородом. Перед внедрением технологии преферментации необходимо выполнить мероприятия по предотвращению насыщения сточных вод кислородом перед их поступлением в первичные отстойники. Все каналы перед сооружениями механической очистки накрыть деревянными щитами для предотвращения аэрирования сточных вод кислородом воздуха. Это мероприятие очень эффективно в холодные периоды года, так как позволяет предотвратить охлаждение сточных вод. Исключить аэрирование сточных вод в приемных камерах, отказаться от эксплуатации преаэраторов или (если смешение потоков сточных вод действительно необходимо, а глубина преаэраторов позволяет) установить в них мешалку с редуктором со скоростью вращения пропеллера не более 17 обор./мин. Это позволит существенно увеличить объем зоны преферментации. Если планируется реконструкция песколовок, желательно отказаться от технологии их аэрирования и отдать предпочтение технологии отмывания песка, с возвратом вод после отмывания в каналы перед песколовками или первичными отстойниками. Если аэрируемые песколовки уже эксплуатируются, следует избегать избыточной аэрации в них. Экспериментально, по качеству осадка из песколовок и содержанию растворенного кислорода в выходящей из них воде, следует установить и поддерживать оптимальные условия процесса эффективного извлечения органики из песка и минимального насыщения воды кислородом.

Для циркуляции сырого осадка не следует использовать насосы, насыщающие сточные воды кислородом. Подача циркулирующего осадка осуществляется в каналы перед первичными отстойниками на максимально достижимой глубине. Накрыть первичные отстойники щитами также полезно, но не все их конструкции позволяют это сделать, щиты также могут усложнять эксплуатацию первичных отстойников.

Микробиологические методы очистки воды

Рекомендации для внедрения процесса преферментации

Ацидофикаторы чрезвычайно чувствительны к температуре как сточных вод, так и окружающего воздуха. Зимой интенсивность ацидофикации падает. Минимальная температура воды для обеспечения ацидофикации 10–12°C. Оптимальная температура 17–45°C. Однако, в первичных отстойниках, при повышении температуры сточных вод от 21 до 26 °C увеличивается вынос взвешенных веществ. Увеличение количества рециркуляций позволяет уменьшить вынос взвешенных веществ из первичных отстойников, несмотря на увеличение температуры. Поэтому необходимо в летний и зимний период экспериментально установить количество необходимых циклов возврата сырого осадка в первичные отстойники в зависимости от температуры очищаемых сточных вод.

Чем больше глубина отстойников, выделяемых под преферментацию, тем эффективнее идет процесс за счет улучшения анаэробных и температурных условий. По данным зарубежных исследований, минимальная допустимая глубина отстойников, которые можно использовать под ацидофикаторы,—2,4 метра, но это данные ученых США, страны с жарким климатом. В России можно рекомендовать использовать под ацидофикаторы первичные отстойники с минимальной глубиной не менее 3 метров.

Ингибиторами ацидофикации являются промышленные токсиканты и продукты метаногенеза. Все анаэробные организмы менее чувствительны к воздействию токсикантов, чем аэробные. Бактерии ацидофикаторы также менее чувствительны к ним, чем метаногены. Как правило, на городских сооружениях биологической очистки, при реализации технологии преферментации сырого осадка, не наблюдалась отрицательная реакция на воздействие токсикантов. Однако, для повышения интенсивности ацидофикации рекомендуется регулярно проводить инспекторскую работу с промышленными предприятиями, ограничивая сброс в системы канализации наиболее распространенных в сточных водах, токсичных тяжелых металлов. Повышение их опасности для анаэробных организмов установлено в ряду: Cu>Pb>Cd>Ni>Zn>Cr⁺⁶.

При циркуляции сырого осадка возрастает устойчивость у анаэробного ила к воздействию токсикантов за счет совершенствования адаптационных механизмов. Поэтому при повышенных концентрациях токсикантов в поступающих на очистку сточных водах, следует при отгрузке сырого осадка, прошедшего цикл ацидофикации, увеличивать долю не отгружаемого на утилизацию осадка. То есть оставлять в отстойнике не 20% осадка, а 25%–30% для использования его в следующем цикле ацидофикации.

Микробиологические методы очистки воды

Рекомендации для внедрения процесса преферментации

Ацидофикаторы функционируют в определенном диапазоне рН. Они высоко ацидофильны. Способны поддерживать рост в среде при рН 4. Оптимальная рН для них составляет 5–6, в результате своей жизнедеятельности в отстойниках – ацидофикаторах. они незначительно (на десятые доли) могут снижать рН очищаемых сточных вод. При внедрении ацидофикации желателен отказ от применения на очистных сооружениях реагентов и сброса в системы канализации реагентов, используемых при подготовке питьевых вод. Применение реагентов в первичных отстойниках и на сооружениях биологической очистки способствуют созданию резко переменных (быстро изменяющихся) условий (кислотно-щелочных) на разных стадиях очистки, которые губят активный ил (ацидофикаторов, нитрификаторов и бактерий, способных накапливать соединения фосфора). Хорошее обеспечение активного ила ЛЖК позволяет добиться удовлетворительного качества очистки без реагентных добавок.

При реализации на очистных сооружениях технологии биологического удаления соединений азота и фосфора, сточные воды после первичного отстойника-ацидофикатора следует подавать насосом в анаэробные и аноксидные зоны. Если в применяемой схеме очистки используется две аноксидные зоны, то подача продуктов ацидофикации осуществляется только в первую, чтобы исключить токсическое воздействие аммонийного азота (побочного продукта ацидофикации) на бактерий, осуществляющих процесс денитрификации во второй аноксидной зоне. Объемы необходимой подачи рассчитываются с учетом особенностей применяемого процесса, технологического регламента, изменяющегося состава очищаемых вод и условий эксплуатации очистных сооружений. В обычном процессе биологической очистки подача насосом осветленных сточных вод с продуктами ацидофикации, как правило, не применяется, они поступают в аэротенки в обычном режиме (в аэротенках вытеснителях только в первый коридор) и используются для улучшения флокуляционных свойств активного ила.

Микробиологические методы очистки воды

Аноксидная/Оксидная технология



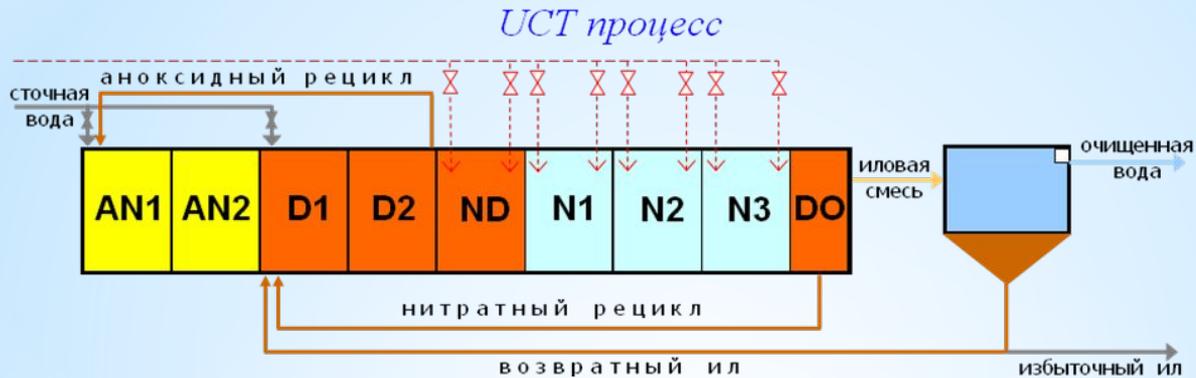
Аноксидно/оксидная схема биологической очистки сточных вод в аэротенках от азота.

1 – исходные сточные воды; 2 – аноксидная зона; 3 – маневренная аноксидная – оксидная зона; 4 – оксидная зона; 5 – вторичный отстойник; 6 – очищенные сточные воды; 7 – циркулирующий активный ил; 8 – избыточный ил; 9 – рецикл нитратов из аэробной в аноксидную зону.

Процесс очистки активным илом в аэротенках АТ с нитрификацией- денитрификацией является широко применяемой схемой биологического удаления биогенных элементов. Технологическая схема аэротенков нитри-денитрификации представлена на рис. 1. Данный процесс основывается на предварительной денитрификации, когда восстановление нитратов происходит при потреблении органических загрязнений исходного стока. В зоне нитрификации аммонийный азот окисляется до нитратов при подаче кислорода в иловую смесь.

Нитрифицированный ил с высоким содержанием нитратов перекачивается из конца зоны нитрификации вместе с потоком возвратного ила из вторичных отстойников и поступает в начало зоны денитрификации. Недостатком технологической схемы является низкий эффект биологического удаления соединений фосфора.

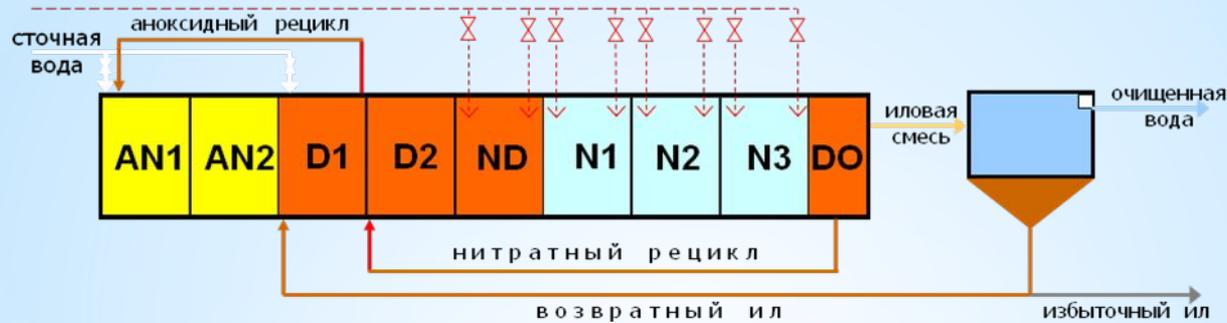
Технология Кейптаунского университета



Система очистки имеет два циркуляционных контура. Возвратный активный ил ЦАИ перекачивается из вторичных отстойников в начало аноксидной зоны, внутренняя рециркуляция ила осуществляется из средней части аноксидной зоны в анаэробную зону. Иловая смесь в аноксидной зоне содержит значительное количество легко окисляемой органики, нитраты в начало аноксидной зоны подаются с нитратным рециклом из зоны нитрификации. Технология позволяет биологическим методом удалять азот и фосфор. Недостатком технологической схемы является наличие двух циркуляционных внутренних контуров.

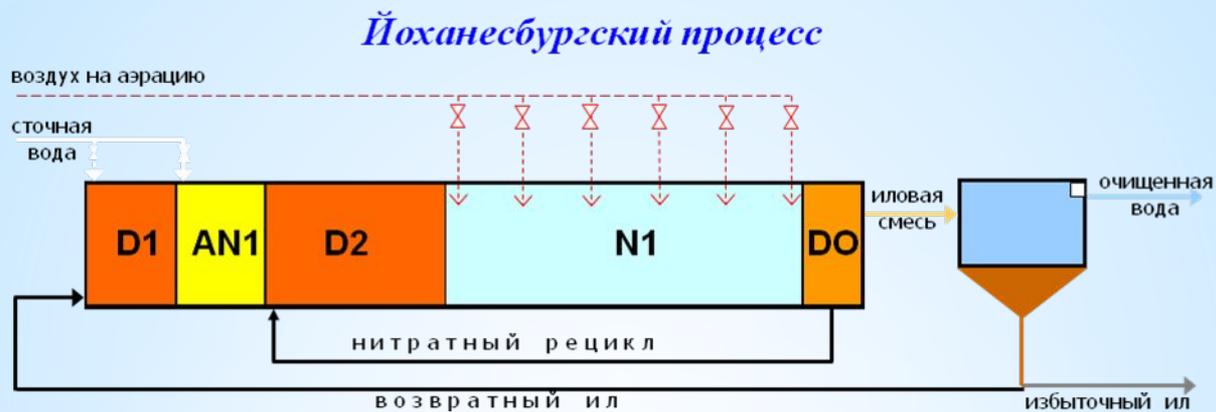
Модернизированный УСТ- процесс

Модифицированный УСТ процесс



В модернизированном варианте технологии Кейптаунского университета, имеется два циркуляционных контура. Возвратный активный ил ЦАИ перекачивается из вторичных отстойников в аноксидную зону, внутренняя рециркуляция ила осуществляется из аноксидной зоны в анаэробную зону. Иловая смесь в аноксидной зоне содержит значительное количество легко окисляемой органики, нитраты в аноксидную зону подаются с нитратным рециклом из зоны нитрификации. Технология позволяет биологическим методом удалять азот и фосфор. Недостатком технологической схемы является наличие двух циркуляционных внутренних контуров

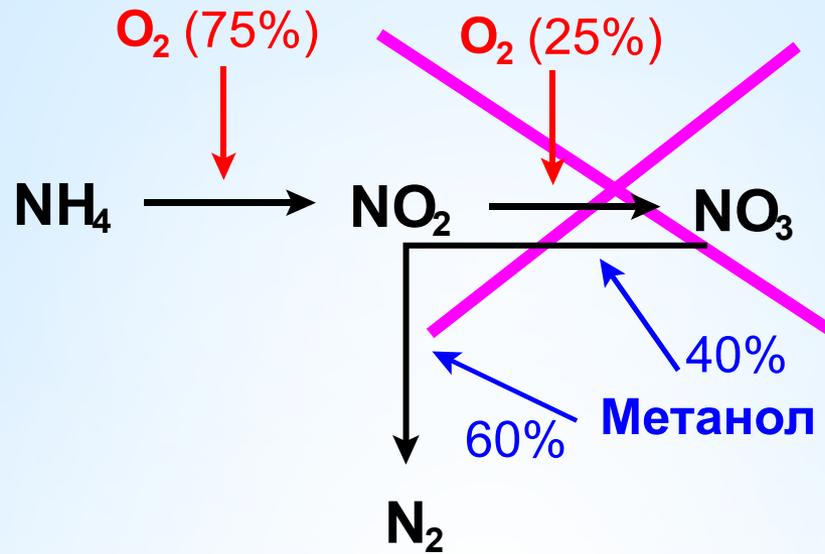
Йоханесбургский процесс



Сточные воды подаются в аноксидную и анаэробную зоны. ЦАИ из вторичных отстойников направляется в аноксидную зону. Процессы нитрификации осуществляются в аэробной зоне, откуда нитрифицированная иловая смесь перекачивается в аноксидную зону. Технология позволяет биологическим методом удалять из сточных вод азот и фосфор.

Процессы очистки сточных вод с использованием ацидофикации осадка

Реактор с одним баком для удаления азота посредством нитрификации



Ацидофикация осадка представляет собой прием, давно используемый в мировой практике.

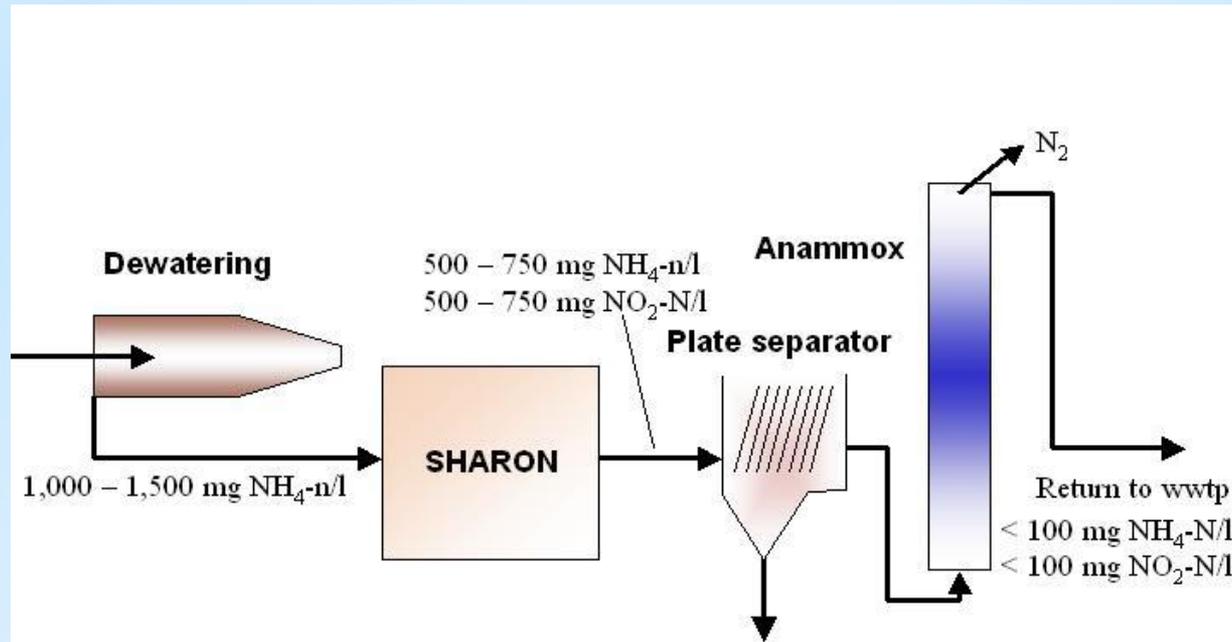
Например, на канализационных сооружениях Dokhaven в Голландии внедрены процессы, основанные на введении дополнительных количеств ЛОВ на стадии денитрификации.

Процесс Sharon предусматривает увеличение подачи метанола после окисления аммонийного азота до нитрит-ионов. Такая мера предотвращает дальнейшее окисление нитрит-ионов до нитрат-ионов и обеспечивает восстановление нитрит-ионов до газообразного азота (рисунок). Процесс взаимодействия образующихся нитрит-ионов с ионами аммония представляет собой процесс Anammox. Процесс описывается следующей химической реакцией:



Микробиологические методы очистки воды

Схема обработки сточных вод на канализационных сооружениях Dokhaven в Голландии с использованием процессов



* На тех же принципах строгого отсутствия кислорода в анаэробной зоне и обеспечения его наличия в аэробной зоне основан еще целый ряд технологий очистки бытовых сточных вод:

* – Модифицированная 5-ступенчатая технология «Барденфо» (Bardenpho) (БАРнард – ДЕНитрификация-ФОсфор),

* – Модифицированная технология JNB (Йоханнесбургская) или технология ISAN,

* – Технология VIP (Virginia Initiative Process, «Вирджинская инициатива»),

* – Технология денитрификации с возвратным активным илом (RAS),

* – Технология Вестбанк (впервые была внедрена в г. Вестбанк, Канада),

* – Технология CNC (г. Шарлотта, Северная Каролина),

* – Технология Пункина (Kruger International Consult A/S),

*

Технология SBR

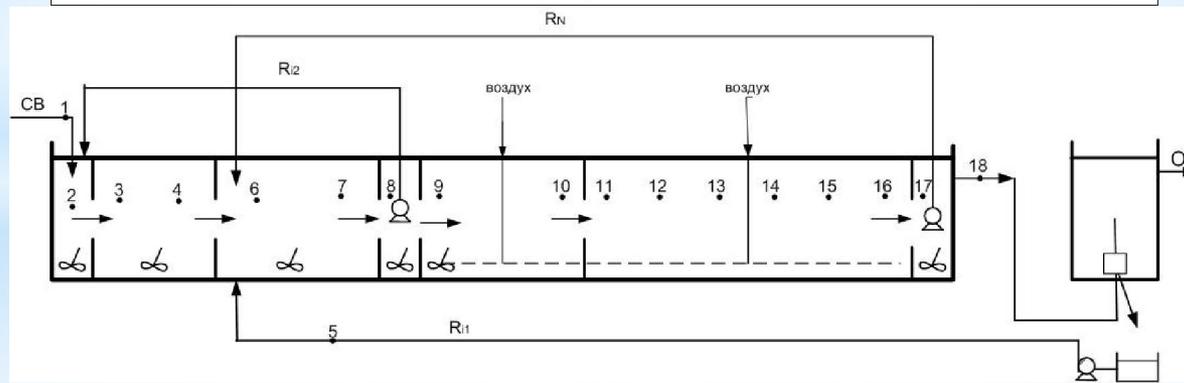
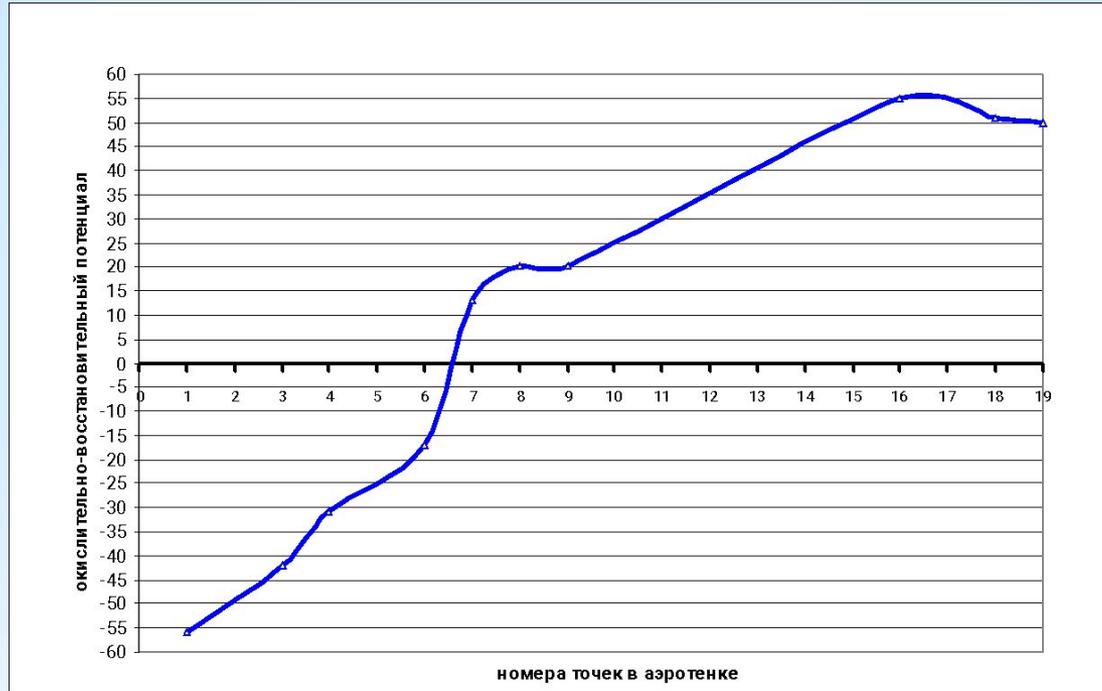
Интересным решением обеспечения оптимальных окислительно-восстановительных условий процессов нитрификации, денитрификации и дефосфатирования является проведение всех перечисленных процессов в одной емкости при циклическом изменении режимов подачи воздуха в биореактор с чередующимися периодами интенсивного насыщения иловой смеси кислородом воздуха (биоокисление органики и нитрификация) и периодами медленного перемешивания без подачи кислорода (денитрификация, биологическая дефосфатация). Данное техническое решение использовано в технологии SBR. В зависимости от концентрации загрязняющих веществ в сточной воде график окислирования иловой смеси может быть быстро изменен, например, в сторону увеличения времени аэрации за счет сокращения времени перемешивания, или наоборот. Благодаря выше названным особенностям периодический процесс биологической очистки практически независим от существенных колебаний объемов сточных вод, поступающих на очистку, состава и концентраций загрязняющих веществ. Это главное преимущество периодического процесса биологической очистки в сравнении с процессами, осуществляемыми непрерывно в аэротенках или биореакторах с подвижными или неподвижными грузочными материалами и прикрепленной к ним биомассой.

Опыт внедрения УСТ-технологии на канализационных очистных сооружениях г. Сестрорецка

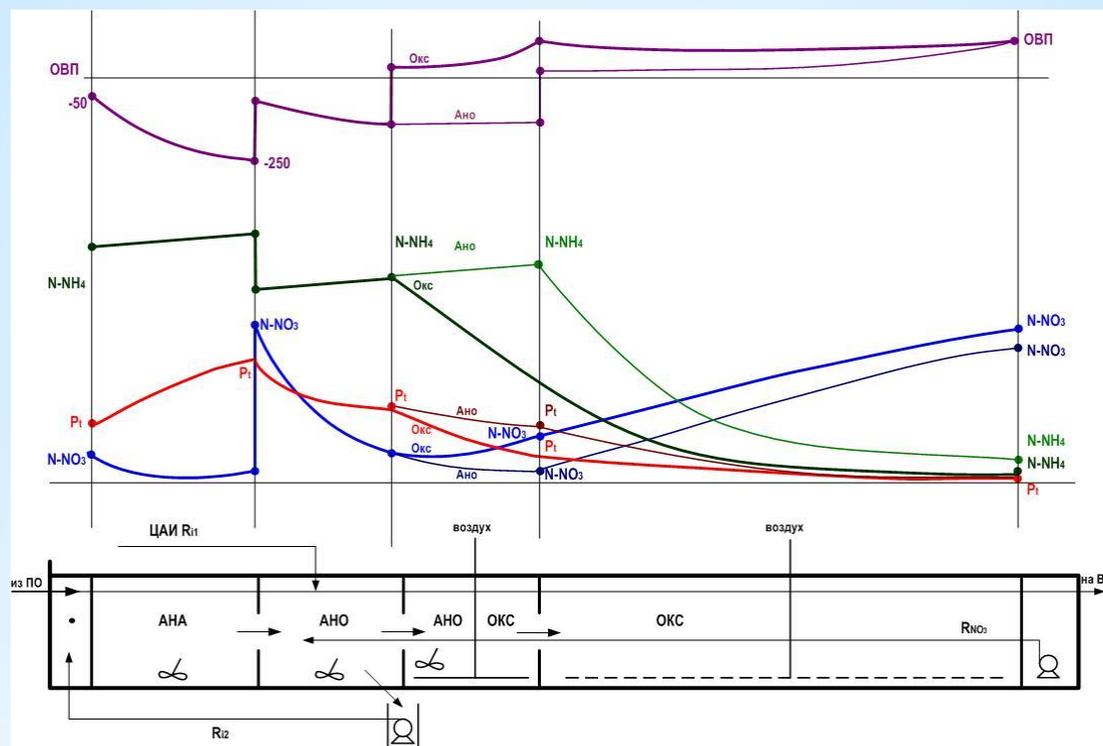
Оказалось, что по ходу движения воды в анаэробной и аноксидной зонах восстановительный потенциал недостаточен для проведения процессов вытеснения фосфора и восстановления нитратов. При первом измерении ОВП было обнаружено полное отсутствие анаэробной зоны. Недостаток органического субстрата, в частности, органических кислот в загрязнениях сточных вод, привел к необходимости использования осадка первичных отстойников для производства дополнительного органического субстрата путем его преферментации. С этой целью один из отстойников работал в обычном режиме, осадок из него перекачивался на вход второго отстойника, на который подавалось 25-30% от общего расхода воды. Во втором отстойнике, в дальнейшем называемом преферментатором, происходило кислое брожение осадка под воздействием биомассы факультативных и частично аэробных (избыточный ил) микроорганизмов.

После использования одного из первичных отстойников в качестве преферментатора ОВП стал изменяться и достиг более низких значений в анаэробной зоне аэротенка.

Опыт внедрения УСТ-технологии на канализационных очистных сооружениях г. Сестрорецка

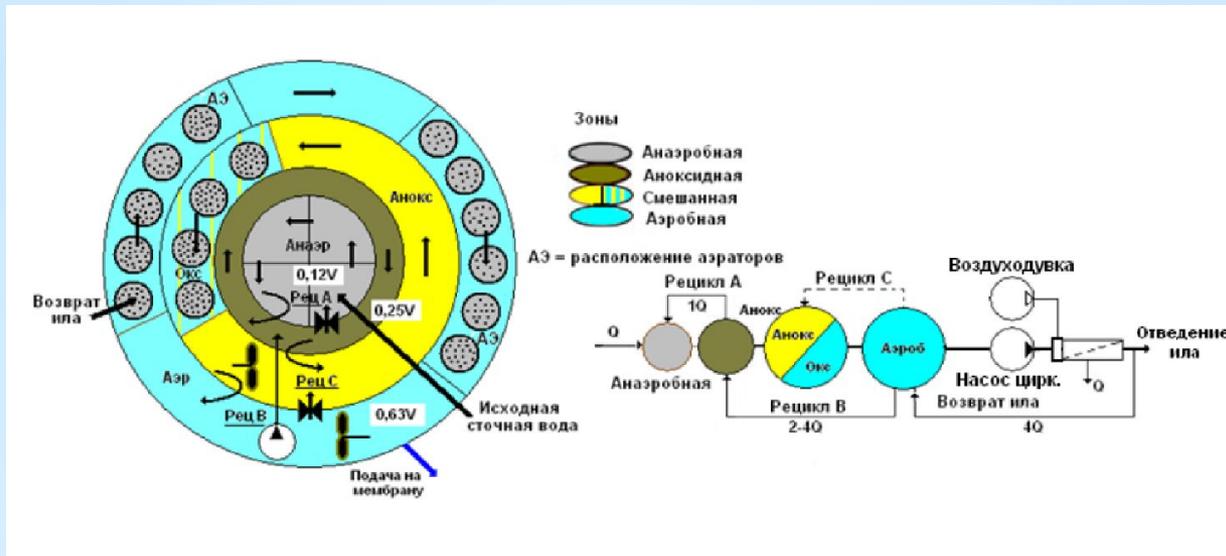


Опыт внедрения УСТ-технологии на канализационных очистных сооружениях г. Сестрорецка



Было проведено измерение ОВП осадка первичных отстойников при подаче на циркуляцию. Выполненные исследования показали, что создание условий для преферментации осадка позволило достичь значений показателя ОВП в аэротенке, соответствовавших теоретическому графику оптимального изменения ОВП по зонам биоблока УСТ.

Технология мембранного биореактора (МБР)



Высокой эффективностью очистки сточных вод от соединений азота и фосфора обладает технология мембранного биореактора (МБР), основанная на комбинировании биологической очистки стоков с помощью активного ила с механическим мембранным разделением иловой смеси на ультрафильтрационных установках, представляющих собой физический барьер с размерами пор от 1 мкм до 10 нм (микро- или ультрафильтрация).

Ультрафильтрационные мембраны используются для разделения иловой смеси в качестве альтернативы вторичному отстойнику, в этом случае оказывается возможным увеличить концентрацию биомассы, ее возраст, снизить нагрузку на активный ил и т. д. Пермеат (фильтрат, очищенная сточная вода) отводится от мембран в накопительные емкости, дополнительно обрабатывается коагулянтom с целью снижения в ней концентрации фосфора, очищается на напорных фильтрах, обеззараживается УФ-облучением и отводится в водоем рыбохозяйственного назначения.

Конструкция реактора МБР предусматривает использования механических мешалок для перемешивания обрабатываемых вод и активного ила в зоне денитрификации и использование системы аэрации в зоне нитрификации. Воздух на аэраторы подается по гибким воздуховодам. Источником сжатого воздуха являются роторные лопастные компрессоры.

Микробиологические методы очистки воды

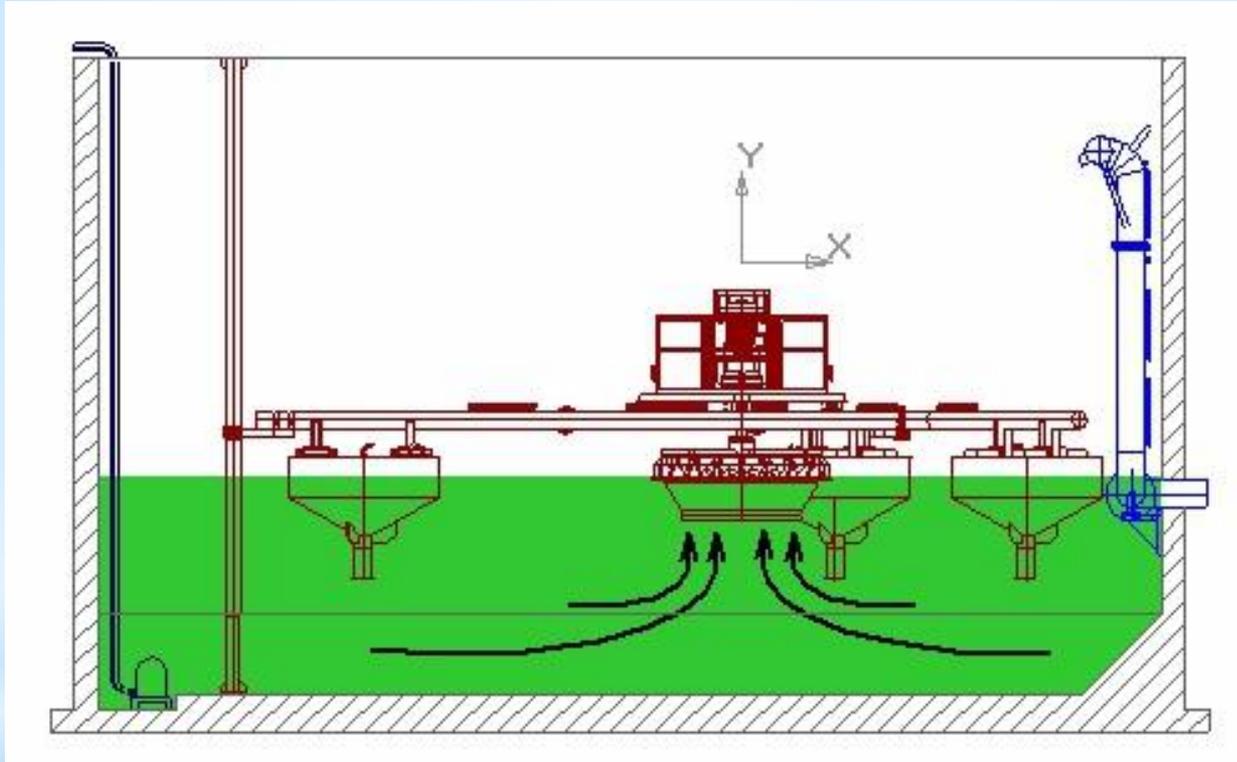
Технология периодического биореактора (SBR)

Принцип работы биореактора SBR

SBR - Sequence Batch Reactor - реактор переменного действия

Работа биореактора состоит из последовательных фаз: наполнение, аэрация, отстаивание и декантация.

0 фаза. Биореактор готов к работе. (Рис 1)



Технология периодического биореактора (SBR)

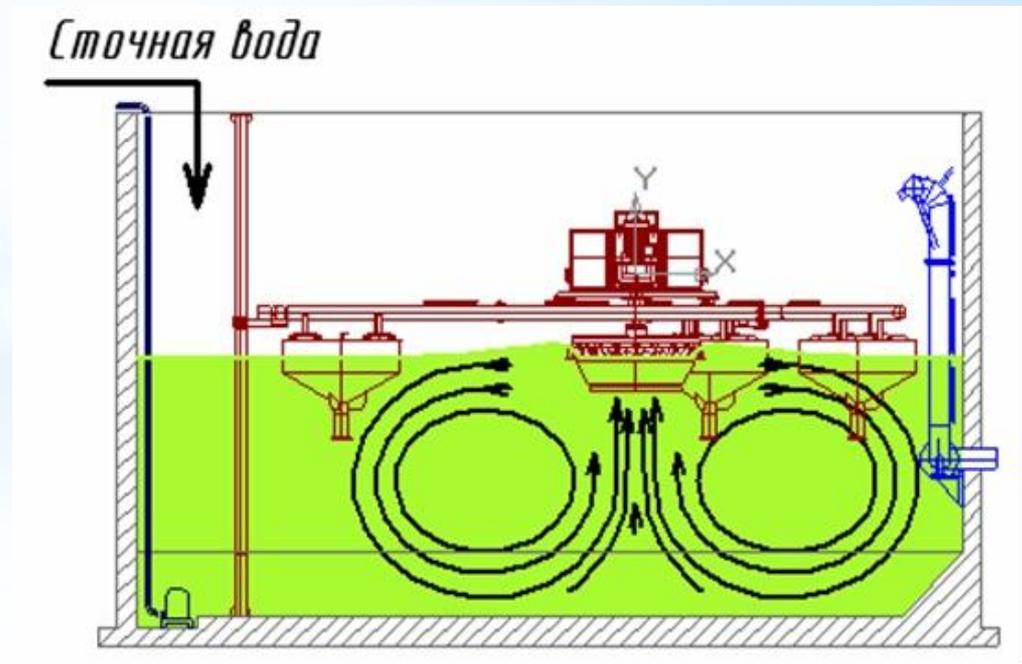
Приблизительно половину биореактора занимает активный ил с концентрацией по беззольному веществу биомассы (БВБ) от 12 до 15 кг/м³.

1 фаза. Наполнение и перемешивание. (Рис 2)

Сточные воды поступают в SBR и перемешиваются с активным илом (при небольшой скорости турбины или мешалки) в анаэробных условиях. Эта фаза очень существенна для систем с большим содержанием органических загрязнений. В этой фазе производится контроль качества активного ила.

Скорость поступления сточной воды не имеет никакого значения, можно организовать подачу воды очень быстро из усреднителя, а может подаваться по мере поступления стоков на КНС. Процесс очистки начался с первой каплей сточной воды поступившей в биореактор.

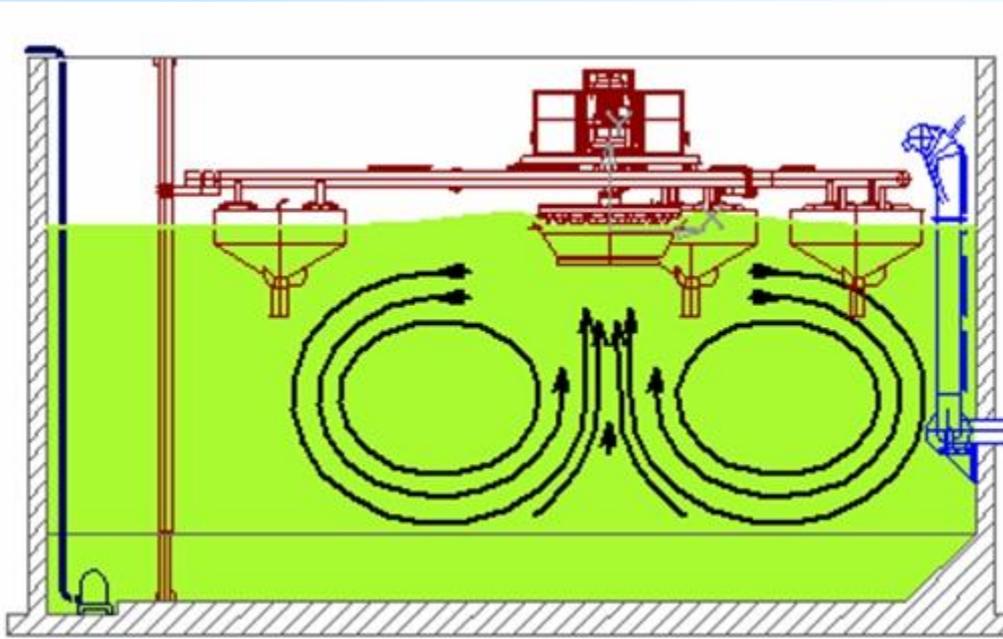
Поступление сточных вод продолжается в условиях перемешивания и аэрации (при большой скорости турбины или одновременной работе мешалки и воздуходувки). Аэрация может быть прекращена (низкая скорость турбины и отключение воздуходувки). Чередование аэробных или анаэробных условий ведет к созданию процессов нитрификации и денитрификации. Изменение скорости производится автоматически в зависимости от сигнала датчика кислорода.



Технология периодического биореактора (SBR)

2 фаза. Аэрация. (Рис 3 и фото 1)

Когда биореактор наполнился, подача воды прекращается. Вновь поступающая вода подается или в следующий биореактор находящийся в «0 фазе» или в усреднитель-накопитель. Циклы перемешивание и аэрация продолжаются до полного прекращения потребления кислорода илом. Это означает что ил окислил все органические загрязнения поступившие в биореактор. Прерывистая работа турбоаэратора приводит к значительной экономии энергии.



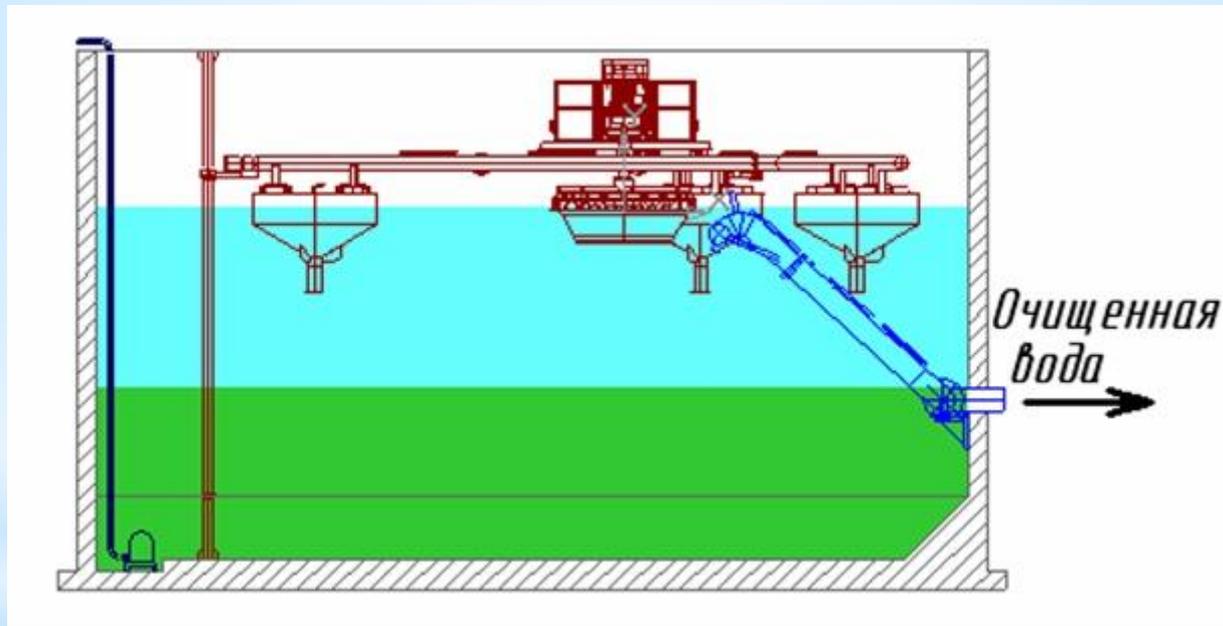
Технология периодического биореактора (SBR)

3 фаза. Отстаивание (Рис 4)

Перемешивание и аэрация прекращаются. Отстаивание ила происходит в идеальных условиях.

4 фаза. Декантация. (Рис 4)

Перемешивание отсутствует. 40% объема SBR декантируется через специальную дренажную систему – декантор. Декантор забирает чистую воду из верхнего слоя отстоянной воды и водит её из биореактора.



Технология периодического биореактора (SBR)

5 фаза Отбор избыточного ила. (Рис 5)

Избыточный активный ил выводится из системы в илоуплотнитель, SBR готов к приему следующей порции сточной воды.

