

КГЭУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

Л. А. НИКОЛАЕВА, Р. Я. ИСХАКОВА

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД
ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА И ЭНЕРГЕТИКИ**

Учебное пособие

**Казань
2021**

УДК 543.2
ББК 24.4
Н63

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «КНИТУ» *И. Г. Шайхиев;*
д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «КГЭУ» *А. В. Демин*

Н63 **Николаева, Лариса Андреевна**

Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики : учебное пособие / Л. А. Николаева, Р. Я. Исхакова. – Казань: КГЭУ, 2021. – 90 с.

Изложены основные методы биологической очистки сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики, представлено подробное описание аэробных и анаэробных способов биохимического окисления, а также даны характеристики активного ила. Описана комплексная технология биосорбционной очистки сточных вод химического предприятия, включающая в себя использование отходов в качестве сорбционных материалов и биохимического окисления активным илом. Подробно рассмотрены методы обезвоживания и вопросы утилизации избыточного активного ила.

Предназначено для студентов всех форм обучения по образовательной программе направления подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, направленность (профиль) «Энергоэффективные и экологически безопасные технологии на предприятиях ТЭК», изучающих дисциплины «Энергоэффективные и ресурсосберегающие методы очистки водных и газовых сред», «Проектирование энергоресурсосберегающих и экологически чистых технологий на предприятиях».

УДК 543.2

ББК 24.4

© Николаева Л. А., Исхакова Р. Я., 2021

© КГЭУ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Очистка сточных вод – это последовательность методов по удалению органических и неорганических загрязнений промышленных, хозяйственных, бытовых сточных вод. Очистные сооружения систем водоотведения представляют собой систему сооружений и оборудования, связанную сложной структурой инженерных коммуникаций, которые предназначены для подачи сточных вод, иловой смеси, отвода сырого осадка и избыточного активного ила, сжатого воздуха, реагентов, дренажных и промывных вод и т. д.

Биологическая очистка сточных вод является важным этапом в работе очистных сооружений. Принцип биологической очистки сточных вод основан на способности микроорганизмов расщеплять органические соединения до простых веществ – воды, метана, сероводорода, углекислого газа. Органические примеси, содержащиеся в сточных водах, являются источником энергии и пищи для разнообразных микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности перерабатывают составные органические соединения до простых аминокислот, белков и т. д. Ключевым компонентом в технологии биологической очистки можно назвать активный ил.

Активный ил – это специфический биоценоз живых организмов, перерабатывающих загрязнения сточных вод. Биоценоз обладает определёнными характеристиками, которые рассчитываются исходя из требуемой эффективности очистки стоков с заданными параметрами входа и планируемыми параметрами очистки сточных вод. Это означает, что состав активного ила будет отличаться в зависимости от количества и вида загрязнений.

Биологическая очистка воды основана на естественных процессах самоочищения водоемов. К достоинствам такой очистки относится доступность, деструкция органических загрязнений без применения химических реагентов, низкие энергетические затраты и простота реализации процессов очистки сточных вод, стабильность окислительных процессов при непостоянстве входящего потока сточных вод по расходу и концентрации.

Классическая схема биологической очистки сточных вод заключается в извлечении примесей в проточном режиме в аппаратах биологической очистки – аэротенках – при непрерывной аэрации с возвратом ила из вторичных отстойников и выведением избыточного активного ила на утилизацию. Однако, несмотря на широкое распространение данной

схемы очистки, существуют недостатки, заключающиеся в невысокой эффективности и длительности протекания процесса, а также высокой «чувствительности» микроорганизмов и необходимости создания благоприятных условий для проведения биохимического окисления примесей.

В связи с этим в настоящее время производится изыскание новых методов для интенсификации сооружений биологической очистки, заключающееся не только в повышении эффективности очистки сточных вод, но и сокращении затрат на обработку единицы объема очищаемой жидкости.

Кроме того, составной частью сооружений биологической очистки сточных вод являются вторичные отстойники, которые в технологических схемах располагаются непосредственно после аэротенков или биофильтров и предназначены для выделения отмершей биопленки и избыточного активного ила из биологически очищенной воды. Качество осветления биологически очищенной воды во вторичных отстойниках определяет конечное значение концентраций примесей очищенной воды и эффективность работы всего комплекса биологических очистных сооружений в целом.

В связи с неизбежным образованием биопленки и избыточного активного ила на любой биологической очистной станции возникает проблема обработки осадков, заключающаяся в снижении их влажности, уменьшении объема избыточного активного ила и его обеззараживании. Объем ежегодно образующегося избыточного активного ила в Российской Федерации составляет 3,5 млрд т. Основная часть (около 90 %) складывается на иловых картах, где за счет естественной конвекции и радиационного теплообмена происходит его сушка. При этом встает проблема отчуждения земель, которые в дальнейшем не подлежат восстановлению. Кроме того, происходит загрязнение поверхностных вод, распространение гнилостного запаха от иловых площадок.

Активный ил является коллоидным соединением высокой влажности (99,2–99,5 %), взвешенные частицы имеют небольшой размер. Коллоидно-связанная влага активного ила обволакивает твердые частицы гидратной оболочкой и не дает им соединиться в крупные агрегаты. Это препятствует его уплотнению и обезвоживанию.

Избыточный активный ил по своему химическому составу может рассматриваться как ценное органоминеральное сырье, которое можно использовать в качестве удобрения, кормовых добавок, рекультиванта почв, топлива для проведения процесса пиролиза и пр.

В учебном пособии представлена комплексная технология биологической очистки сточных вод с использованием отхода теплоэнергетики в качестве сорбционного материала с выбором оптимального метода утилизации избыточного активного ила в качестве твердого топлива.

Учебное пособие предназначено для формирования у студентов способностей разрабатывать планы внедрения новой энергоэффективной и природоохранной техники и технологий, проводить расчеты для обоснования внедрения в организации новых экологически безопасных технологий на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК), в том числе с использованием прикладных компьютерных программ.

ГЛАВА 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В экономике Российской Федерации ежегодно используется около $62,5 \text{ км}^3$ воды. Свыше 90 % общего объема использования водных ресурсов приходится на тепловую и атомную энергетику (37 %), агропромышленный комплекс (24 %), а также жилищно-коммунальное хозяйство (18 %), добывающую и обрабатывающую промышленность (12 %). Водоёмкость валового внутреннего продукта Российской Федерации составляет около $2,4 \text{ м}^3/\text{тыс. руб.}$, что значительно превышает аналогичные показатели стран-лидеров в области ресурсосбережения. В водные объекты Российской Федерации в год сбрасывается до 52 км^3 сточных вод, из которых $19,2 \text{ км}^3$ подлежат очистке. Свыше 72 % сточных вод, подлежащих очистке ($13,8 \text{ км}^3$), сбрасываются в водные объекты недостаточно очищенными, 17 % ($3,4 \text{ км}^3$) – загрязнёнными без очистки и только 11 % (2 км^3) – очищенными до установленных нормативов.

Вместе со сточными водами в поверхностные водные объекты Российской Федерации ежегодно поступает около 11 млн т загрязняющих веществ. На долю промышленности приходится 25 % общего объема сброса загрязнённых сточных вод [1].

Биологическая очистка сточных вод – это процесс перевода коллоидных и растворенных органических веществ в минеральные соединения за счет жизнедеятельности бактерий.

Биологическая очистка сточных вод является одним из самых распространенных способов обезвреживания бытовых и производственных вод при подготовке их к спуску в водоемы. В его основе лежит процесс биологического окисления органических соединений, содержащихся в сточных водах. Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов, включающим множество различных бактерий, простейших и ряд более высокоорганизованных организмов – водорослей, грибов и т. д., связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма). Процессы биологической очистки во многом аналогичны процессам самоочищения в природных водоемах, интенсифицированных применением систем инженерных сооружений, таких как: аэротенки, биологические фильтры, биологические пруды, поля орошения, поля аэрации и прочие.

Сточные воды, направляемые на биохимическую очистку, характеризуются двумя основными показателями: биохимической и химической потребностями в кислороде (БПК и ХПК).

БПК – биохимическая потребность в кислороде, количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ за определенный промежуток времени (сут), в мг O_2 на 1 мг вещества.

ХПК – химическая потребность в кислороде, т. е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде. ХПК также выражается в мг O_2 на 1 мг вещества.

Очистка воды может происходить с применением двух типов бактерий – аэробных и анаэробных. Аэробным микроорганизмам для функционирования необходимо присутствие кислорода. Анаэробные бактерии могут работать в замкнутой системе без доступа воздуха.

Стадии аэробной очистки сточных вод:

1. Первичная обработка, в результате которой удаляют твердые частицы (в песколовках, отстойниках).

2. Разложение растворенного органического вещества за счет деятельности активного ила или биопленки, которые впоследствии либо удаляются, либо возвращаются в реактор.

3. Доочистка воды, например химическое осаждение не удаленных ионов или катионов, обеззараживание воды за счет хлорирования или озонирования.

4. Переработка активного ила, в результате которой уменьшается его объем, количество патогенов, запах, а в анаэробных процессах образуется метан.

На рис. 1 представлена типовая схема биологической очистки сточных вод.

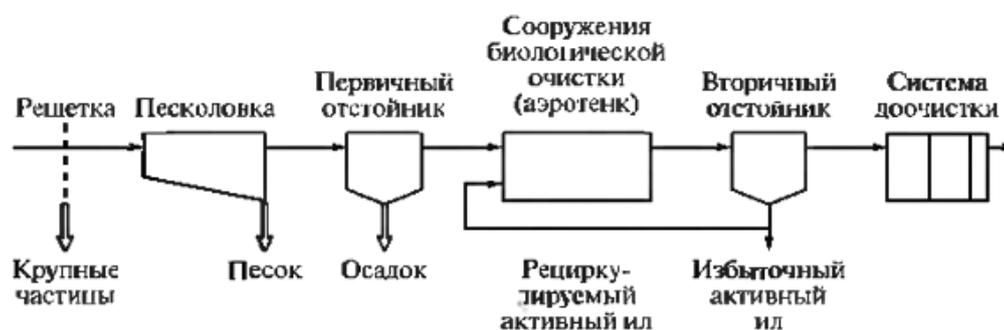


Рис. 1. Типичная схема биологической очистки сточных вод с аэротенком [2]

Изначально очистка сточных вод производилась на полях фильтрации и биопрудах. Для их реализации применялись как аэробный, так и анаэробный процессы. Поля фильтрации представляют собой участки

суглинка и песчаной земли, содержащие колонии бактерий. В биопрудах переработка происходит в толще воды. Современная биологическая очистка сточных вод постепенно дистанцируется от использования этих методов. Главными причинами являются большие территории для очистных сооружений и неприятные запахи в их окрестностях.

В биологических прудах основную роль окислителей и минерализаторов загрязнений выполняет бактериальный планктон, переработка загрязнений происходит в толще воды. Современная биологическая очистка сточных вод постепенно дистанцируется от использования этих методов. Главными причинами являются большие территории для очистных сооружений и неприятные запахи в их окрестностях.

1.1. Общие понятия и определения процесса биохимического окисления

Сущность биохимического окисления загрязнений заключается в потреблении их в качестве питания микробиальными клетками активного ила. Кислород при этом потребляется микроорганизмами в процессе их дыхания и расходуется в клетках на ферментативное окисление. Продуктами биохимического окисления являются: углекислота, вода, инертная масса, экзотермическая энергия и новые клетки (активный ил).

Разложение растворенного органического вещества происходит за счет деятельности микроорганизмов. Микроорганизмы в искусственных очистных сооружениях находятся (рис. 2):

- 1) в свободном состоянии – в аэротенке,
- 2) в иммобилизованном (прикрепленном) состоянии – в биофильтре.



Рис. 2. Способы размещения микроорганизмов в сооружениях биологической очистки: а – активный ил в аэротенке; б – биопленка в биофильтре; в – активный ил и биопленка в биотенке [2]

В биофильтрах процессы окисления протекают на поверхности загруженного материала в биопленке, насыщенной микроорганизмами. Минерализованная биопленка удаляется из потока очищенной жидкостью во вторичные отстойники.

Процесс биологической очистки проходит в две фазы: в первой фазе – адсорбция поверхностью бактериальных клеток органических веществ, находящихся в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях с образованием активного ила или биопленки; во второй фазе – окисление растворенных и адсорбированных органических веществ, заключающееся в усвоении пищи микробами в ферментативных процессах живой клетки.

Скорость процесса очистки жидкости от загрязняющих ее органических веществ и возможности ее регулирования зависят от:

- массы и поверхности участвующих в процессах очистки микробных сообществ, сформировавшихся в виде активного ила;
- времени контакта их со стоками, а также пребывания сточных вод в сооружении;
- наличия кислорода;
- наличия питательной среды (органики и биогенов);
- содержания в воде некоторых примесей, ускоряющих или замедляющих процессы очистки.

Для всех сооружений биологической очистки вод, осуществляющих процесс в аэробных условиях, необходимо предварительно провести этап механической очистки сточных вод: освободить воды от крупных и взвешенных веществ в решетках-дробилках, песколовках, первичных отстойниках. Очистка воды от жиросодержащих компонентов производится механически в верхней части водного слоя в жироловках.

Биологическая очистка сточных вод в искусственных аппаратах требует начальной водоподготовки. Ее целью является устранение механических примесей, которые негативно влияют на эффективность биологической очистки, микроорганизмы активного ила и эксплуатацию установок. Образовавшиеся газы после очистки собираются в газоуловителе, а осадок – в отделении его концентрирования и гомогенизации.

1.2. Характеристика активного ила

Активный ил – это хлопья коричнево-бурого цвета, состоящие в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и между ними находятся разнообразные простейшие организмы.

Источником питания и энергии для жизнедеятельности организмов активного ила служат органические загрязняющие вещества, поступающие со сточной водой. Часть органических веществ идет на построение новых клеток микроорганизмов, другая часть используется в процессах жизнедеятельности. Микроорганизмы активного ила с помощью выделяемых ими ферментов окисляют, расщепляют эти загрязнения в присутствии кислорода до простых неорганических соединений, в конечном счете, до воды и углекислого газа.

Сухое вещество активного ила на 70–90 % состоит из органических веществ и на 10–30 % – из минеральных.

Благодаря аэрации хлопья активного ила в аппаратах биоочистки поддерживаются во взвешенном состоянии.

При участии активного ила протекают следующие процессы:

1. Сорбция загрязняющих веществ на поверхности хлопьев активного ила. Через несколько минут контакта сточной воды с иловой смесью концентрация загрязнений в воде существенно снижается. Начинается процесс окисления легкоразлагающихся органических веществ.

2. Поступление веществ внутрь клеток (диффузия, активный транспорт, фагоцитоз). Макромолекулы расщепляются экзоферментами, секретирруемыми клетками. Твердые частицы загрязнений (органические вещества) расщепляются экзоферментами либо потребляются простейшими.

3. Окисление загрязняющих веществ, распавшихся на более короткие молекулы, эндоферментами внутри клетки. Превращение аммонийного азота в нитриты и нитраты.

Биоценоз активного ила обитает и размножается в аппаратах – аэротенках. Все организмы, обитающие в аэротенке, попадают в него из внешних источников: вместе со сточной водой, из почвы и воздуха, заносятся насекомыми.

В условиях аэротенка происходит селекция микроорганизмов, т. е. преимущественное развитие одних видов, которые находят для себя благоприятные условия, и подавление других. Факторами, определяющими направление селекции, являются аэрация, состав загрязнений, температура, скорость роста и др. Численность микроорганизмов составляет 10^{10} – 10^{11} клеток на миллилитр (кл/мл).

При аэробной очистке сточных вод протекают два наиболее важных микробиологических процесса:

- 1) окисление органического углерода;
- 2) нитрификация.

Для работы активного ила наиболее важно присутствие трех основных групп бактерий:

1) углеродооксиляющих флокуллообразующих, участвующих в образовании хлопьев, для их быстрого осаждения в отстойнике с формированием плотного ила;

2) углеродооксиляющих нитчатых, обеспечивающих формирование «скелета», вокруг которого образуются флокулы; нитчатые формы также являются активными окислителями органических веществ;

3) нитрификаторов, превращающих аммонийный азот в нитриты и нитраты.

Из-за присутствия актиномицетов активный ил обладает землистым запахом. В составе активного ила обнаруживается множество бактерий, не культивируемых в лабораторных условиях. Только около 5 % микробиоты активного ила известны в настоящее время и выделены в чистую культуру.

С использованием молекулярно-биологических методов показано наличие представителей *Paracoccus*, *Hyphomicrobium*, *Aeromonas*, *Cytophaga* и др. Наиболее часто встречаются цианобактерии родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc*, *Osillatoria*.

Цианобактерии устойчивы к воздействию неблагоприятных факторов среды, а также токсикантов, они могут достигать значительной численности в активном иле аэротенков и вызывать вспухание. Они вызывают и «цветение» водоемов.

В составе активного ила могут быть обнаружены грибы, развитию которых способствует кислая реакция среды, хотя число их и незначительно: *Trichosporon*, *Rhodotorula*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и др. Источником их попадания считают почву, воздух, сточные воды.

При эксплуатации аппаратов с активным илом может возникать такая проблема, как его вспухание. Вспухание активного ила – это реакция биоценоза на неблагоприятные экологические условия. Биоценоз аэротенков и биофильтров характеризуется разным количественным соотношением отдельных групп микроорганизмов: в биопленке биофильтра значительно выше доля анаэробных микроорганизмов, чем в аэротенке (до 25 %).

В случае недостаточной аэрации при чрезмерном разрастании грибов и нитчатых бактерий может произойти заиливание аэротенка или биофильтра. Для предотвращения прекращают подачу сточной воды и перемешивают слои фильтра. При культивировании изолированных из биопленки микроорганизмов в жидкой среде в условиях аэрации формируются хлопья, напоминающие активный ил.

Управление качеством биологической очистки – создание обстановки в сооружении, способствующей интенсивной жизнедеятельности необходимых организму и подавлению вредной для процесса микрофлоры. В результате биохимических процессов окисления органических веществ изменяется химический состав сточных вод, прежде всего: уменьшается концентрация аммиака, появляются нитраты и нитриты, резко снижается концентрация окисляющихся органических веществ, о степени которой судят обычно по уменьшению величины БПК. В то же время не менее важной задачей очистки сточных вод является подавление опасных для здоровья (патогенных) микроорганизмов уменьшением питательной среды, поддерживающей их жизнедеятельность, или применением химических методов обеззараживания: хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение. Живым агентом процессов биологической очистки является активный ил – сложная экосистема, включающая большое количество представителей микрофлоры и микрофауны. Основу этой системы в процессе очистки составляют бактерии в виде хлопьевидных скоплений (зооглей). Присутствуют также нитчатые бактерии, грифы водных грибов, дрожжи, бесцветные жгутиконосцы, саркодовые (голые и раковинные) и инфузории, между которыми устанавливаются пищевые связи.

1.3. Общая характеристика сооружения и аппаратов биологической очистки

Биологическая очистка может осуществляться как в естественных, так и в искусственных условиях. К сооружениям естественной очистки относятся: фильтрующие колодцы, кассеты, поля фильтрации, фильтрующие траншеи, биологические пруды.

При круглогодичной работе сооружения естественной очистки рекомендуется использовать, если удовлетворяются следующие условия:

- среднегодовая температура воздуха в районе расположения очистной станции не менее 10 °С;
- глубина грунтовых вод не менее 1 м от поверхности земли;
- наличие свободных площадей вблизи малых объектов.

Основное достоинство естественных способов очистки в невысокой стоимости строительства и эксплуатации таких сооружений. Недостатком является низкая скорость процессов очистки по сравнению с искусственными сооружениями.

При сезонной работе станции (только в летний период) первое условие, касающееся среднегодовой температуры, исключается. Однако почвенные методы не всегда приемлемы из-за неблагоприятных санитарных, почвенно-грунтовых, климатических, гидрогеологических условий. В связи с этим возникает необходимость в применении сооружений искусственной биологической очистки. Традиционным подходом к биологической очистке сточных вод является использование аэротенков.

1.3.1. Очистка сточных вод в аэротенках

Аэротенк представляет собой открытое железобетонное сооружение, через которое проходит сточная вода, содержащая органические загрязнения и активный ил. Суспензия ила в сточной воде в аэротенке подвергается аэрации воздухом.

Сточная вода поступает в аэротенк и удаляется из него непрерывно. Время пребывания сточной воды в аэротенке колеблется от двух до десятков часов. В аэротенках с помощью активного ила происходит интенсивное биохимическое окисление загрязняющих органических веществ.

Классификация аэротенков:

- по способу подачи сточных вод и гидродинамическому режиму конструкции применяемых аэротенков подразделяются на три основных типа (рис. 3):

- 1) вытеснители;
- 2) смесители;
- 3) аэротенки промежуточного типа;

- по нагрузкам на активный ил (концентрации загрязнений) – высоконагружаемые, обычные, низконагружаемые;

- по количеству ступеней очистки – одно-, двух- и многоступенчатые.

В окситенках вместо воздуха подается технический кислород. Это значительно повышает концентрацию активного ила и окислительную мощность, снижаются затраты очистных сооружений. Окислительная мощность окситенка в 5 раз выше, чем у аэротенка.

После аэротенка очищенная сточная вода с активным илом поступает во вторичные отстойники, где активный ил осаждается. Часть его снова возвращается в аэротенк (циркуляционный активный ил), а остальная часть (избыточный активный ил) перерабатывается, чтобы уменьшить его объем. Очищенная сточная вода проходит обеззараживание в контактном резервуаре и после этого поступает в водоем.

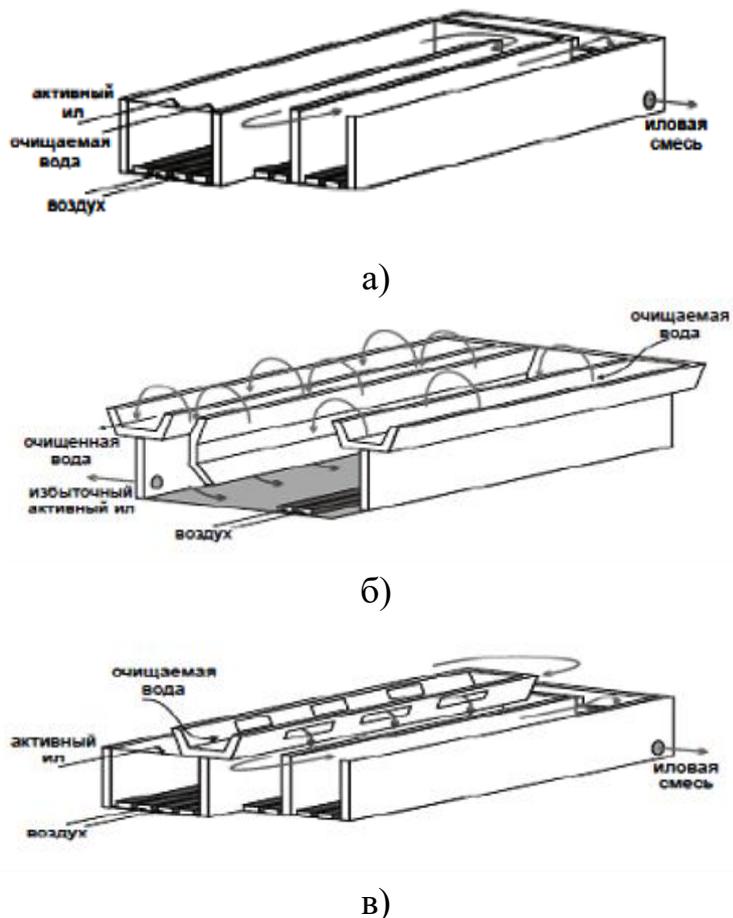


Рис. 3. Схемы аэротенков:
 а – аэротенк-вытеснитель; б – аэротенк-смеситель;
 в – аэротенк с рассредоточенной подачей сточной воды [3]

Избыточный активный ил уплотняется в илоуплотнителе и утилизируется. Одним из способов переработки ила и осадка из первичных отстойников является сбраживание их в метантенке с получением биогаза. Осадок после сбраживания обезвоживается на вакуум-филт্রে и отправляется на утилизацию, а жидкость подается для очистки в аэротенк.

1.3.2. Очистка сточных вод в биофилтрах

Биофилтры являются еще одним видом сооружений искусственной биологической очистки, которые в настоящее время привлекают значительный интерес. При эксплуатации биофилтров сточные воды проходят через фильтрующий материал, покрытый активной биологической пленкой. Биофилтр представляет собой резервуар прямоугольной или цилиндрической формы. В нем находятся фильтрующая загрузка (щебень, керамзит, керамика, гравий, и др.).

Сточная жидкость подается на биофильтр через специальные водораспределительные устройства, которые обеспечивают равномерное орошение всей поверхности загрузочного материала.

Традиционная технологическая схема очистки сточных вод методом биофильтрации включает:

- 1) первичный отстойник для удаления взвешенных частиц,
- 2) биофильтр,
- 3) вторичный отстойник.

При очистке более загрязненной воды предусматривают ее рециркуляцию.

В то время как вода фильтруется через материал загрузки, микроорганизмы биопленки адсорбируют и окисляют присутствующие в воде загрязнения и используют их в качестве источника питательных веществ и энергии.

При эксплуатации биофильтра происходит рост биопленки. Часть её отмирает и выносится из устройства. Оторвавшиеся кусочки биопленки затем осаждаются во вторичном отстойнике.

Биофильтры классифицируются:

По степени очистки: на полную и неполную биологическую очистку.

По технологической схеме: одно- и многоступенчатые.

По режиму аэрации сточных вод: аппараты с принудительной или естественной аэрацией.

По пропускной способности: малой пропускной способности (капельные) и большой (высоконагружаемые).

По типу загрузки: с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень) и с плоскостной загрузкой (пластмассы, ткани, асбоцемент, керамика, металл).

По типу погружения в воду: погружные, орошаемые, вращающиеся.

В качестве примера на рис. 4 представлена принципиальная схема работы перколяционного биофильтра с принудительной аэрацией.

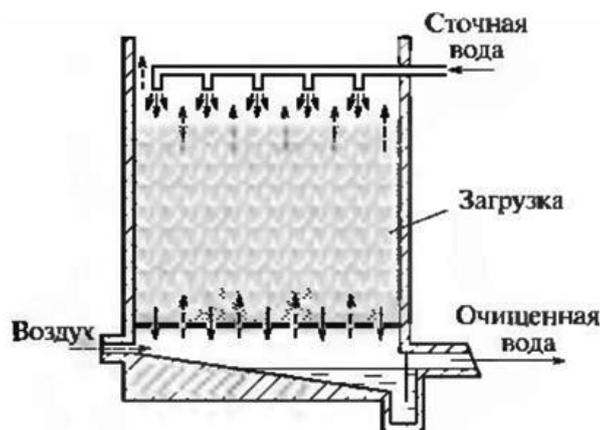


Рис. 4. Схема перколяционного биофильтра с принудительной аэрацией [2]

Вода поступает сверху на загрузку (перколяционный слой), а воздух – снизу. После очищенная вода собирается внизу аппарата. Омертвевшая и отработавшая биопленка смывается протекающей водой и выносится из биофильтра.

В зависимости от крупности фракций загрузочного материала биофильтры с объемной загрузкой подразделяют на следующие виды:

1) капельные с размером фракций 20–30 мм и высотой слоя загрузки 1–2 м (при расходе сточных вод не более $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$), которые при высокой нагрузке по органическим загрязнениям могут заиливаться (разрастается биопленка);

2) высоконагружаемые (рис. 5), имеющие размер загрузочного материала 40–60 мм и высоту слоя загрузки 2–4 м (при расходе сточных вод до $50000 \text{ м}^3/\text{сут}$), при этом сточная вода движется с высокой скоростью, не заиливается, мутная вода на выходе нуждается в отстаивании;

3) башенные с размером загрузочного материала 60–80 мм и высотой слоя загрузки 8–16 м (редко применяются).

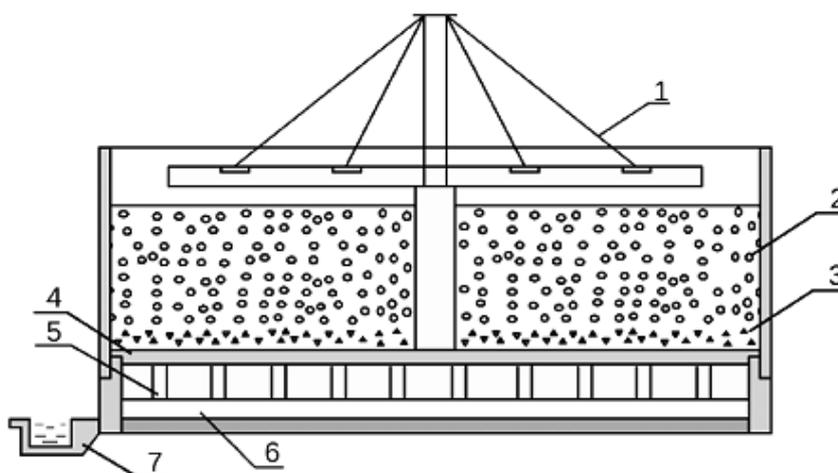


Рис. 5. Схема высоконагружаемого биофильтра:

1 – реактивный ороситель; 2 – основная загрузка (керамика, галька); 3 – поддерживающая загрузка (щебень, галька); 4 – решетка; 5 – воздуходувные окна; 6 – двойное дно; 7 – отводящий канал

Основные технологические параметры, определяющие режим работы биофильтров:

1) гидравлическая нагрузка;

2) нагрузка по органическим загрязнениям (для капельных – $200\text{--}300 \text{ мг БПК}/\text{дм}^3$, для башенных – $300\text{--}500 \text{ мг БПК}/\text{дм}^3$. При более высоких значениях БПК будет наблюдаться сильное разрастание микроорганизмов в верхней части фильтра, заиливание);

- 3) окислительная мощность;
- 4) коэффициент рециркуляции.

К преимуществам биофильтров относятся: простота, надежность, длительное использование (около 30–50 лет); возможность удаления практически всех растворенных примесей; образование малых излишков биомассы; несущественное влияние дефицита азота и фосфора на эффективность процесса; развитие процессов нитрификации – денитрификации, удаление из системы избыточного азота; более высокая устойчивость к пониженным температурам, залповым сбросам по сравнению с аэротенками.

Недостатки использования биофильтров: сложность контроля содержания растворенного кислорода на разных уровнях; необходимость равномерного орошения сточными водами с постоянной скоростью (при образовании биопленки невозможны перерывы в работе, а время ее созревания составляет 30–50 дней); чрезмерное разрастание биопленки, приводящее к заиливанию и зарастанию пространства между частицами.

По сравнению с аэротенками биофильтры менее энергоемки, но и менее производительны, но при этом требуют больших площадей. Подходят для очистки небольших количеств сточных вод.

Биофильтры используют для очистки сточных вод различных производств: целлюлозно-бумажной, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности и др. На биофильтрах может быть достигнута высокая степень очистки сточной воды.

Важными факторами стабильной работы биофильтра является равномерное орошение его поверхности сточной водой и достаточное поступление кислорода воздуха. Для работы биофильтра важно поддерживать режимы температуры (избегать переохлаждения и перегрева).

1.3.3. Прочие сооружения и аппараты аэробной биологической очистки

К прочим сооружениям, в которых биологическая очистка протекает в искусственно созданных условиях, относятся [4]:

- биофильтры с загрузкой из пеностекла или пластмассы;
- биодисковые фильтры;
- биореакторы с биобарабанами;
- блок биореакторов с затопленной ершовой загрузкой;
- аэрационные установки, работающие по методу полного окисления (продленной аэрации);
- аэрационные установки с аэробной стабилизацией избыточного активного ила.

Биофильтры с загрузкой из пеностекла или пластмассы

Сооружения биологической фильтрации, особенно с прикрепленным биоценозом, хорошо себя зарекомендовали в работе с малыми расходами и пиковыми нагрузками по органическим примесям. Они просты, удобны, в них за короткое время (до 30 мин) происходит скоростное изъятие загрязнений. На традиционных биофильтрах в качестве фильтрующей массы применяют объемный материал: щебень, гравий, керамзит. Блочные загрузки из блоков пеностекла имеют преимущества в технологическом, конструктивном и эксплуатационном отношениях по сравнению с другими материалами.

Пеностекло – это теплоизоляционный строительный материал. Он отличается механической прочностью, влаго-, паро- и газонепроницаемостью, огнестойкостью, морозостойкостью, долговечностью, устойчивостью к воздействию кислот и продуктов разложения. Площадь адсорбционной поверхности пеностекла в зависимости от величины перфорации с учетом малых и больших пор – $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Пеностекло имеет чрезмерно развитую поверхность, удерживает в единице объема большее количество биопленки, чем какой-либо другой вид загрузочного материала, что способствует интенсивному изъятию загрязнений из сточных вод. Распределение сточной воды по поверхности биофильтра осуществляется с помощью реактивного оросителя.

Пластмассовые загрузки используются в виде жесткой (кольца, обрезки труб и т. д.), жестко-блочной (из плоских и гофрированных листов), а также мягкой (из пластмассовых пленок) засыпки. Таким образом, она обладает высокой пустотностью, большой сорбционной поверхностью и относительно малым коэффициентом сцепления биопленки с ее поверхностью, что создает условия для образования тонкого слоя биопленки.

Пластмассовая загрузка исключает заиливание биофильтров, значительно увеличивает объем поступающего воздуха, что способствует повышению окислительной мощности. Кроме достоинств, биофильтры обладают и рядом недостатков. Так, высокая неравномерность поступления сточных вод от малых объектов крайне отрицательно влияет на работу биофильтров и аэротенков. В биофильтрах происходит подсыхание биопленки и наблюдается неравномерность температурного режима ее работы, создаются условия, способствующие заиливанию загрузки. Во избежание этих явлений в часы минимального притока сточных вод осуществляют рециркуляцию очищенных сточных вод, что приводит к дополнительным энергозатратам на перекачку стоков.

Биодисковые фильтры

Эти сооружения предназначены для расхода сточных вод до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$. В качестве загрузки для биодисковых фильтров рекомендуются перфорированные диски, изготовленные из объемных синтетических материалов пониженной плотности (пенопласта, пеностекла). Современные биодисковые фильтры представляют собой многосекционную емкость, наполненную вращающейся загрузкой. Диски набирают на горизонтально расположенном валу с расстоянием между ними 15–20 мм. Диски обычно погружены в очищаемую жидкость на 30–45 %, иногда до 75 %. Диаметр дисков находится в пределах от 0,4 до 3,0 м в зависимости от производительности установки.

Принцип действия данного сооружения следующий: диск – основной компонент сооружения – находится в постоянном вращательном движении, причем их поверхность перфорации покрывается биопленкой, которая находится в прикрепленном состоянии. Биомодули, создавая обширную поверхность, обеспечивают гидродинамические условия, при которых отторгнутая биопленка продолжает работать, находясь во взвешенном состоянии. Здесь совмещается режим работы прикрепленного биоценоза и взвешенного активного ила. За пределами зоны очищаемой воды микроорганизмы, находясь в биопленке, получают кислород непосредственно из атмосферы.

При одинаковых категориях обрабатываемых городских сточных вод и заданном эффекте очистки время аэрации в биодисковом фильтре составляет 60–90 мин, а в классических аэротенках – около 6 ч. Биодисковые фильтры компактны, конструктивно просты, устойчивы к различного рода перегрузкам, имеют низкие удельные энергозатраты. Кроме того, при использовании этих фильтров практически отпадает необходимость насосной станции, так как гидравлические потери сооружений не значительны.

Биодисковые фильтры – многосекционные сооружения (3–6 секций). Основная масса удаленных биоразлагаемых загрязнений приходится на первую и вторую секции биодисковых фильтров. Процесс снижения аммонийного азота и нитрификации успешно протекает в третьей и последующих секциях. Удаление азота достигает 40 %, что выше, чем в 28 классических биофильтрах и аэротенках. Однако в очищенных водах присутствуют азотистые соли (биогенные соединения), поэтому в некоторых случаях требуется доочистка. Из биодисковых фильтров биологическая пленка с потоком обработанной жидкости выносится во вторичный отстойник. Разделение биопленки осуществляется гравитационным способом. Вторичные отстойники рекомендуется оборудовать тонкослойными модулями.

Биореакторы с биобарабанами

В качестве биореакторов для очистных сооружений пропускной способностью 50–700 м³/сут сточных вод предложены 5–6-ступенчатые установки с полупогруженными вращающимися биобарабанами [5]. Они представляют собой каскад поддонов (корыт) цилиндрической или близкой к ним конфигурации.

Движение очищаемой сточной воды и жидкости из поддона в поддон – самотечное за счет объединения поддонов в сообщающиеся сосуды по средствам системы патрубков, располагаемых в примыкающих друг к другу стенках поддонов. Для равномерного распределения жидкости в первом по ходу движения поддоне расположен приемный карман с затопленным щелевым переливом. Сборный канал для отвода очищенной жидкости устраивается на выходе из последнего поддона установки. В каждый поддон помещается барабан с волокнистой загрузкой, на которой нарастает биопленка.

Барабан медленно вращается вследствие легкости конструкции, все барабаны каскада приводятся в движение от одного привода. При вращении барабана осуществляется естественная аэрация биомассы микроорганизмов. В нижней части поддона устраивают сборно-отводящие каналы или продольные бункеры для сбора и отвода осадка, заканчивающиеся патрубком и задвижкой, которые присоединяются к сборному коллектору, отводящему осадок на обезвоживание. Регенерация ершей осуществляется барботированием через перфорированные трубы, расположенные в нижней части биореактора. Установки работают устойчиво при различных концентрациях органических веществ в сточных водах [6].

1.3.4. Анаэробная очистка сточных вод

Анаэробная очистка – процесс сбразивания высококонцентрированных сточных вод, осуществляемый микроорганизмами в отсутствие кислорода (в анаэробных условиях). Этот способ применяется при многоуровневой фильтрации воды в современных системах глубокой очистки.

Для некоторых видов высококонцентрированных сточных вод (например, в случае, когда ХПК < 2000 мг/дм³) только анаэробная очистка является единственным способом, при котором удаляется до 90 % загрязнений.

Для повышения эффективности используют системы многоуровневой очистки с совместным применением анаэробных и аэробных микроорганизмов [7].

При анаэробной очистке образуется горючий биогаз. Биогаз – это смесь, состоящая из 65 % метана, 30 % CO₂, 1 % H₂S и незначительных примесей N₂, O₂, H₂ и CO (угарного газа). В основе получения биогаза лежит процесс метанового брожения, или биометаногенез.

Биометаногенез – сложный микробиологический процесс, в котором органическое вещество разлагается до диоксида углерода и метана в аэробных условиях. Микробиологическому анаэробному разложению поддаются практически все соединения природного происхождения, а также значительная часть ксенобиотиков органической природы.

В анаэробном процессе биометаногенеза выделяют три последовательные стадии, в которых участвуют свыше 190 различных микроорганизмов

На первой стадии под влиянием экстрацеллюлярных ферментов ферментативному гидролизу подвергаются сложные многоуглеродные соединения – белки, липиды и полисахариды. Вместе с гидролитическими бактериями функционируют и микроорганизмы – бродильщики, которые ферментируют моносахариды, органические кислоты.

На второй стадии (ацидогенез) в процессе ферментации участвуют две группы микроорганизмов: ацетогенные и гомоацетатные. Ацетогенные H₂-продуцирующие микроорганизмы ферментируют моносахариды, спирты и органические кислоты с образованием H₂, CO₂, низших жирных кислот, в основном ацетата, спиртов и некоторых других низкомолекулярных соединений. Деградация бутирата, пропионата, лактата с образованием ацетата происходит при совместном действии ацетогенных H₂-продуцирующих и H₂-утилизирующих бактерий. Гомоацетатные микроорганизмы усваивают H₂ и CO₂, а также некоторые одноуглеродные соединения через стадию образования ацетил-КоА и превращения его в низкомолекулярные кислоты, в основном в ацетат.

На заключительной третьей стадии анаэробного разложения отходов образуется метан. Он может синтезироваться через стадию восстановления CO₂ молекулярным водородом, а также из метильной группы ацетата. Некоторые метановые бактерии способны использовать в качестве субстрата формат, CO₂, метанол, метиламин и ароматические соединения.

Первую стадию разрушения сложных органических полимеров осуществляют бактерии из родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Butyrivibro*.

Главные продукты ферментации – ацетат, пропионат, сукцинат, H₂ и CO₂. Конечными продуктами ферментации целлюлозы и гемицеллюлозы под действием бактерий являются различные летучие жирные кислоты.

Бактерии второй, или ацетогенной, фазы, относящиеся к родам *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas* и *Desulfovibrio*, вызывают разложение пропионата, бутирата, лактата и пирувата до ацетата, H_2 и CO_2 — предшественников метана. Ряд микроорганизмов способны синтезировать ацетат из CO_2 в термофильных условиях, к их числу принадлежат *Clostridium formicoaceticum*, *Acetobacterium woodii*, метановые бактерии из родов *Methanothrix*, *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanogenium* и *Methanospirillum*.

Для получения биогаза можно использовать отходы сельского хозяйства, испорченные продукты, стоки крахмалперерабатывающих предприятий, жидкие отходы сахарных заводов, бытовые отходы, сточные воды городов и спиртовых заводов. В настоящее время для производства биогаза чаще используют вторичные отходы (отходы животноводства и сточные воды городов), чем первичные (отходы зерноводства, полеводства, хлопководства, пищевой, легкой, микробиологической, лесной и других отраслей), обладающие сравнительно низкой реакционной способностью и нуждающиеся в предварительной обработке.

К сооружениям анаэробной очистки относятся септики, осветлители-перегниватели, контактные резервуары, анаэробные лагуны, метантенки, биореакторы.

Септики и анаэробные лагуны

Септик представляет собой аппарат, состоящий из 2-х частей:

- 1) отстойной (осветление воды из-за движения её с малой скоростью);
- 2) септической (расположена под первой, перегнивание осадка при хранении его в течение 6–12 месяцев).

Продолжительность нахождения воды в септике 3–4 сут. Септики применяются при количестве воды не более $25\text{ м}^3/\text{сут}$.

Септик-тенки (септики) являются распространенными сооружениями для индивидуальных домохозяйств, так как работают автономно и не нуждаются в электропитании. Со временем осадок расслаивается и часть его всплывает наверх, образуя на поверхности корку. При разложении органических веществ донный осадок уплотняется, загнивает и в нем протекают процессы брожения. Образующиеся при этом газы поднимаются наверх, увлекая с собой частицы осадка, которые слипаются с коркой и увеличивают ее толщину. На корке развиваются различные грибы, которые, пронизывая ее своими нитями, увеличивают ее прочность. Плавающий слой сохраняет тепло этого сооружения и тем самым приводит к интенсификации процессов.

Сточная жидкость, движущаяся между коркой и осадком, обогащается продуктами гниения, например сероводородом, и приобретает неприятный запах. Иловая жидкость плохо перемешивается со свежей сточной жидкостью, поэтому в ней накапливаются летучие жирные кислоты, которые снижают рН до 5.

Вследствие этого в газе наряду с CO_2 , CH_4 , H_2 образуется сероводород. Разнообразный состав бродящего осадка вызывает к жизнедеятельности многочисленную микрофлору. Установлено, что 1 мл бродящего осадка содержит миллиарды различных бактерий: аммонифицирующие, жирорасщепляющие, расщепляющие углеводы (клетчатку, крахмал) и протеины, восстанавливающие соли серной и азотной кислот, расщепляющие кислоты жирного ряда.

Анаэробные микробы получают энергию за счет сбраживания органических веществ. Эта энергия очень мала, поэтому организмы, использующие ее, вынуждены перерабатывать огромные количества исходных продуктов. В этом заключается практическая ценность анаэробных процессов. Но чем меньше термохимический эффект реакции, тем медленнее происходит рост и размножение возбудителей этих процессов. Процесс минерализации можно ускорить добавлением к септическому илу, содержащему большую массу микробов и ферментов, определенного количества свежего осадка, тщательным перемешиванием этих осадков, а также повышением температуры.

Все эти условия отсутствуют в септике, поэтому процесс в нем протекает медленно. Но при длительном хранении осадка в этом сооружении объем его уменьшается на 50 %. В сброженном осадке остаются патогенные микробы и яйца гельминтов. Использовать его в качестве удобрения нельзя. Септикотенки применяются в основном при малых объемах сточных вод. Ил периодически удаляют, обычно это осуществляют раз в год. Часть ила оставляют для поддержания работы септика. Большинство септиков работают без обогрева ($t < 20 \text{ }^\circ\text{C}$) [8].

Лагуны представляют собой отстойники, организуемые под открытым небом или в специальных помещениях. В регионах с теплым климатом такие комплексы служат не только в качестве очистных сооружений. Здесь также добывается биогаз, используемый в топливных системах предприятий. Чаще всего лагуны устраиваются рядом со свинофермами, так как в них сливается жидкий навоз и стоки с боен.

Двухъярусный отстойник

Для анаэробной очистки сточных вод также используются двухъярусные отстойники. На рис. 6 представлено устройство этого очистного сооружения. В отличие от септикотенка в двухъярусном отстойнике осаждение осадка происходит в отстойных лотках с продольной щелью на дне, через которую осадок попадает в нижнюю септическую часть и накапливается в ней слоем до 7 м. Процессы, происходящие в септической части, не отличаются от процессов септикотенка, только газы брожения не попадают в проходящую сточную жидкость, а выходят в атмосферу через «тазовые пазухи». В двухъярусном отстойнике осадок не расслаивается. Выпуск перегнившего септического ила производится через иловую трубу под гидростатическим напором в 1,5–2,0 м.

При частичном удалении донного осадка происходит добавление новых порций свежего осадка и перемешивание его со «зрелым» (т. е. септическим) илом. Происходит разбавление иловой жидкости новыми порциями сточной воды.

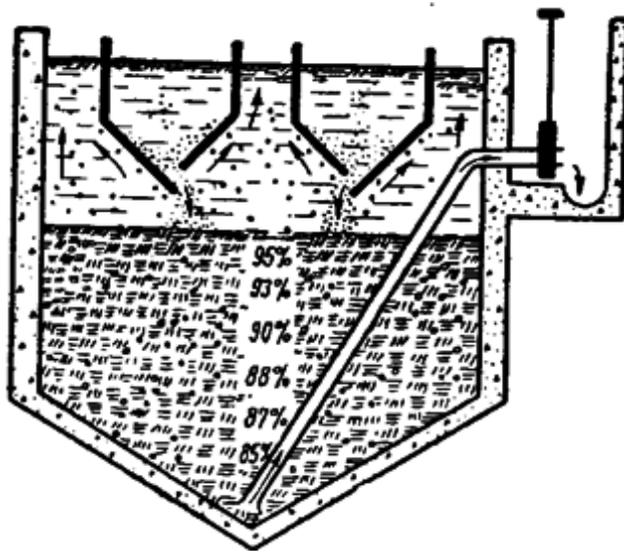


Рис. 6. Схема устройства двухъярусного отстойника (цифрами обозначена влажность бродящего осадка)

В двухъярусном отстойнике активно работает микрофлора поверхностных слоев бродящего осадка, где влажность не ниже 94 % (разложение осадка падает с понижением его влажности). Иловая жидкость обладает большой концентрацией гидрокарбоната аммония; это обуславливает ее высокую буферность.

Благодаря этому рН иловой жидкости поддерживается в пределах от 6,5 до 7,8. В составе газов отсутствует сероводород, поэтому сброженный осадок не обладает плохим запахом. Процесс распада органических веществ в двухъярусном отстойнике происходит гораздо глубже, чем в септиктенке. Благоприятное течение процесса в этом сооружении обусловлено правильным соотношением септического ила и свежего осадка, более полным перемешиванием по сравнению с септиктенком, а также частичной смены иловой воды во время выпуска зрелого осадка [9].

Анаэробное сбраживание в метантенках

Метантенком называется бродильная камера, в которой создаются оптимальные условия для анаэробного разложения органического вещества осадка сточных вод. Техническое оформление метантенка чрезвычайно разнообразно, однако основными параметрами в нем являются температура бродящего осадка, доза загрузки «свежего» осадка и тщательность перемешивания септического ила со свежей загрузкой. Метантенк широко применяется в производстве биогаза для сбраживания сельскохозяйственных отходов и осадков сточных вод.

В общем случае метантенк представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем и герметическим перекрытием, в верхней части которого имеется колпак для сбора газа. В районах со среднегодовой температурой воздуха не ниже 6 °С при обосновании можно применять двухступенчатые метантенки, что позволяет значительно снизить объем осадка. При этом метантенки первой ступени следует проектировать на мезофильное сбраживание, а метантенки второй ступени предусматривают в виде открытых неподогреваемых резервуаров. Объем метантенков второй ступени рассчитывают исходя из дозы суточной загрузки, равной 4 %. Выпуск иловой воды из метантенков второй ступени необходимо предусматривать на разных уровнях по высоте сооружения, удаление осадка из сборного приемка – под гидростатическим напором не менее 2 м. Влажность осадка, выгружаемого из метантенков второй ступени, принимается равной, при сбраживании осадка из первичного отстойника – 92 %, при сбраживании смеси осадка с активным илом – 93–94 %.

В районах со среднемесячной температурой воздуха самого холодного месяца года около 5 °С может быть применено одноступенчатое сбраживание в открытых метантенках без подогрева. Объем такого метантенка складывается из четырех условных объемов (считая сверху):

1 – объем высотой 0,5–1 м для образования плавающей корки, необходимой для защиты от охлаждения в зимнее время;

2 – объем для иловой воды, принимаемый равным объему иловой воды, выделившейся за 14 сут. Суточный объем иловой воды определяют как разницу между объемом свежего осадка и полностью сброженного и уплотненного осадка;

3 – объем для протекания процесса сбраживания;

4 – объем для хранения и дополнительного уплотнения сброженного осадка. Объем этого слоя зависит от способа удаления и дальнейшего использования сброженных осадков.

Учитывая неравномерность выхода газа из метантенков, в целях максимального его использования на площадках очистных сооружений устанавливают мокрые однозвеньевые газгольдеры, позволяющие поддерживать постоянное давление в газовой сети. Объем газгольдеров определяется в соответствии с графиком выхода и потребления газа. При отсутствии графика принимают объем, равный 2–4-часовому выходу газа.

Устанавливают газгольдеры обычно на тупиковом ответвлении газовой сети. Вход – выход газа, воды и пара производится через газовый ввод, состоящий из утепленной будки-камеры, внутреннего заглубленного приемка и железобетонного тоннеля под газгольдером. В будке-камере газового ввода размещены: гидравлический затвор, используемый также и для сбора конденсата, сливной бак, клапанная коробка автоматического сброса газа, контрольно-измерительные приборы, задвижки на вводе водопровода и сливной трубе.

В процесс жизнедеятельности гранулы ила расщепляют химический и биологический «мусор», поступающий со стоками, выделяя при этом метан и воду. В системах многоуровневой биоочистки налажена последовательность отведения основных продуктов фильтрации. Покидая метантенк, вода направляется в аэротенк, где доочищается аэробными бактериями. Газ поднимается вверх и может использоваться для обогрева реактора. Нормальной температурой для развития анаэробов рода архей является 30 °С, но также выделены организмы, функционирующие при 10–20 °С.

В табл. 1 проведено сравнение аэробной и анаэробной очисток сточных вод, приведены их достоинства и недостатки.

Сравнение показателей аэробной и анаэробной очистки сточных вод

Аэробный процесс	Аэробный процесс
Высокие энергетические затраты на аэрацию	Не требуется аэрация (энергопотребление анаэробного процесса в 10 раз ниже, чем аэробного)
Требуется разбавление концентрированных стоков	Возможна очистка высококонцентрированных стоков (до 30 кг ХПК/м ³ ·сут)
Снижение БПК в сточной воде на 90–95 %	Снижение БПК в сточной воде на 80–90 %
Образуется большое количество биомассы активного ила (1,0–1,5 кг ила на 1 кг разлагаемых загрязнений)	Меньше прирост биомассы активного ила (0,1–0,2 кг на 1 кг разлагаемых загрязнений)
Для сушки ила требуется занимать большие земельные участки для устройства иловых площадок, что ухудшает экологическую обстановку	Избыточный ил может длительно храниться при температуре до 15 °С без значительной потери активности, что важно для предприятий с периодическим циклом производства

Таким образом, выбор метода биологической очистки сточных вод зависит от различных параметров, в том числе качественных и количественных характеристик сточных вод. При этом наиболее оптимальный метод биологической очистки определяется исходя из экономической эффективности и рентабельности процесса.

Контрольные вопросы

1. Перечислите стадии аэробной очистки сточных вод.
2. Какие процессы протекают при участии активного ила?
3. Классифицируйте аэротенки по способу подачи сточных вод и гидродинамическому режиму конструкции.
4. Опишите три последовательные стадии биометаногенеза в анаэробном процессе.
5. Сравните аэробный и анаэробный процессы биологической очистки сточных вод.

ГЛАВА 2. ОБРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В процессах механической и биологической очисток сточных вод на очистных сооружениях образуются осадки, содержащие органические и минеральные компоненты. Избыточный активный ил – это осадок, который образуется после биологической очистки и задерживается вторичными отстойниками после аэротенков. Он имеет высокую влажность (99,2–99,7 %).

Обработка осадков проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации. Для этого производят:

1) уменьшение объема осадка за счет его уплотнения и обезвоживания (в илоуплотнителях);

2) стабилизацию для длительного хранения путем разложения органической части до простых соединений или устойчивых в условиях окружающей среды продуктов;

3) обеззараживание.

Способы обезвреживания осадков сточных вод:

1) анаэробное сбраживание в метантенках;

2) сушка на иловых площадках (достоинствами являются простота инженерного обеспечения и легкость эксплуатации, однако их размещение требует больших площадей);

3) компостирование;

4) термическая сушка;

5) сжигание (могут образовываться токсичные вещества);

6) пиролиз (высокотемпературный нагрев без доступа кислорода);

7) захоронение (в траншеях, на полигонах).

2.1. Уплотнение активного ила

Уплотнение – это наиболее простой, дешевый и распространенный способ уменьшения объема осадков, обеспечивающий повышение производительности последующих подходов к обработке осадка. Для уплотнения активного ила применяют гравитационный илоуплотнитель вертикального и радиального типа, илоуплотнители с перемешиванием, прогреванием и добавкой химических реагентов. Активный ил может уплотняться как самостоятельно, так и в смеси с осадком первичных отстойников [9].

При длительном уплотнении активного ила возникает опасность его загнивания, резкий рост удельного сопротивления осадка, а также увеличение количества связанной воды.

Продолжительность уплотнения активного ила для получения оптимальной концентрации определяется опытным путем при эксплуатации. При уплотнении ила основная задача, возникающая для достижения максимальной эффективности – выбор уплотнителя, в котором получается активный ил более высокой концентрации при меньшей длительности уплотнения. Наиболее оптимальными являются илоуплотнители радиального типа, длительность уплотнения в которых составляет 9–11 ч.

Иловая смесь из аэротенков уплотняется быстрее, чем активный ил из вторичных отстойников. При снижении содержания органических веществ в твердой фазе неуплотненного активного ила путем аэробной стабилизации улучшается его уплотнение. Проведение совместной очистки промышленных и бытовых сточных вод позволяет существенно изменить состав и свойства активного ила, а следовательно, и способность его к уплотнению. Вместо илоуплотнителей можно применять сгущение активного ила в тарельчатых сепараторах либо путем флотации сжатым воздухом. Удельное сопротивление сгущенного активного ила ниже, чем уплотненного в илоуплотнителях, а концентрация выше (до 50 г/л) в связи с ускорением процесса сгущения. Для уплотнения сброженных осадков используют предварительную промывку их очищенной сточной или технической водой. При промывке из сброженных осадков частично удаляются коллоидные и мелкодисперсные частицы, благодаря чему сокращается расход химических реагентов на коагуляцию и улучшается их уплотнение. Для уменьшения выноса взвешенных веществ и сокращения длительности уплотнения вместо промывной воды можно принять малоконцентрированный раствор хлорного железа.

Принцип работы гравитационных илоуплотнителей аналогичен отстаиванию в первичных отстойниках. К достоинствам этих аппаратов относится экономичность, простота обслуживания, так как зачастую они оборудованы скребковыми устройствами или илососами. К недостаткам относятся большая продолжительность отстаивания (10–12 ч) и высокая влажность уплотненного ила (95,5 %).

Флотационные илоуплотнители используют для сгущения иловой смеси после аэротенков и избыточного активного ила после вторичных отстойников. Применяемые в практике флотационные установки работают по принципу напорной флотации. При напорной флотации частицы активного ила быстро извлекаются на поверхность флотатора в результате их прилипания к мелким пузырькам воздуха, выделяющимся при снижении

давления до атмосферного. Диспергирование воздуха в иловой среде осуществляется двумя способами: непосредственным насыщением воздухом и путем использования рабочей жидкости (насыщенной воздухом осветленной воды после вторичных отстойников).

На рис. 7 представлен флотационный илоуплотнитель конструкции ОАО «НИИ ВОДГЕО», предназначенный для уплотнения иловой смеси, образующейся после очистки сточных вод. Иловая смесь, предварительно насыщенная воздухом через эжекторы на всасывающей трубе, насосом подается в напорную емкость, откуда поступает во вращающийся дырчатый распределитель и далее в зону осветления.

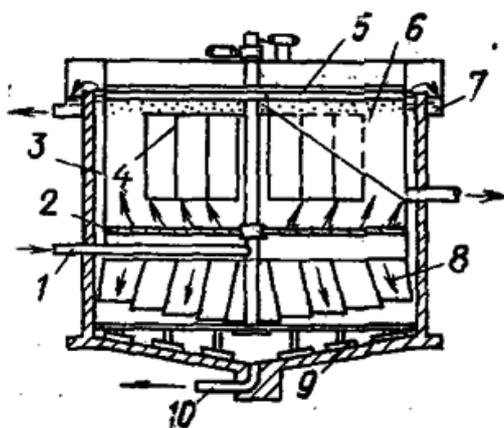


Рис. 7. Флотационный уплотнитель конструкции ОАО «НИИ ВОДГЕО»:
 1 – подача иловоздушной смеси; 2 – вращающийся дырчатый распределитель;
 3 – периферийная перегородка; 4 – цилиндрические перегородки; 5 – илоскреб;
 6 – илосборный лоток; 7 – кольцевой водослив; 8 – конические перегородки;
 9 – скребковое устройство; 10 – отвод выпавшего ила и опорожнение уплотнителя

Далее представлен флотатор конструкции украинского института инженеров водного хозяйства, применяемый для флотации ила из отстойников (рис. 8); для диспергирования воздуха в этом флотаторе используется предварительно насыщенная рабочая жидкость.

Исходный активный ил по трубопроводу 2 подается в верхнюю часть распределительного устройства 4 и через дырчатые трубы 3 поступает во флотатор. Рабочая жидкость по трубопроводу 1 подается в нижнюю часть распределительного устройства и через дырчатые трубы 3 поступает во флотатор. Осветленная жидкость удаляется из флотатора по трубопроводу 5. Сфлотированный ил собирается скребковым лотком 7 в периферийный лоток 8.

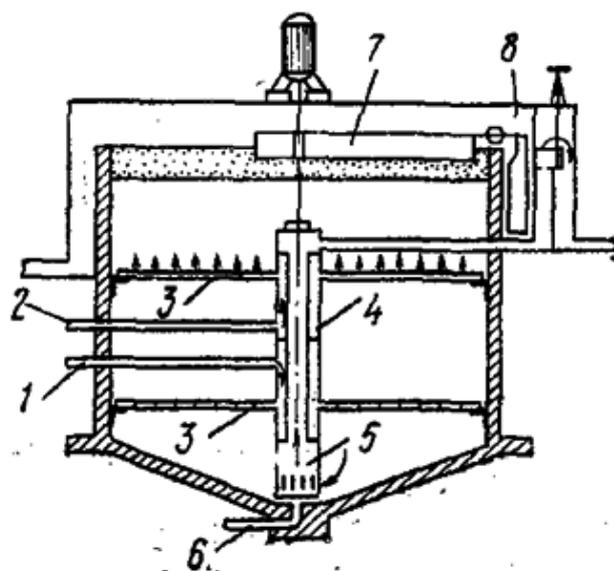


Рис. 8. Флотационный уплотнитель:

- 1 – подача водовоздушной смеси; 2 – подача исходного ила; 3 – дырчатые трубы;
 4 – распределительное устройство; 5 – отвод осветленной жидкости;
 6 – опорожнение уплотнителя; 7 – скребок; 8 – периферийный лоток

Насыщение иловой среды воздухом может осуществляться в напорном баке от отдельно стоящего компрессора. Осветленная во флотаторе жидкость отводится в канал перед аэротенками. В отличие от гравитационного илоуплотнителя, во флотационном аппарате продолжительность уплотнения меньше (до 3–4 ч) и ниже влажность полученного осадка (95–96 %). В связи с сокращением объема уплотненного ила снижаются затраты на его последующую обработку. Недостатком флотационного илоуплотнителя является подача иловой смеси или рабочей жидкости во флотатор насосом через напорный бак. Напор насоса должен быть не менее 50–60 м. При подаче воздуха через эжектор во всасывающую трубу насоса его производительность снижается на 10–15 %.

Применение гравитационного или флотационного илоуплотнителей должно быть обосновано технико-экономическим сравнением.

2.2. Сепарация осадков сточных вод

Сепараторы применяют для сгущения активного ила и фугата после шнековых центрифуг [10]. Жидкостные сепараторы с тарельчатыми вставками имеют одинаковое устройство рабочего органа (рис. 9).

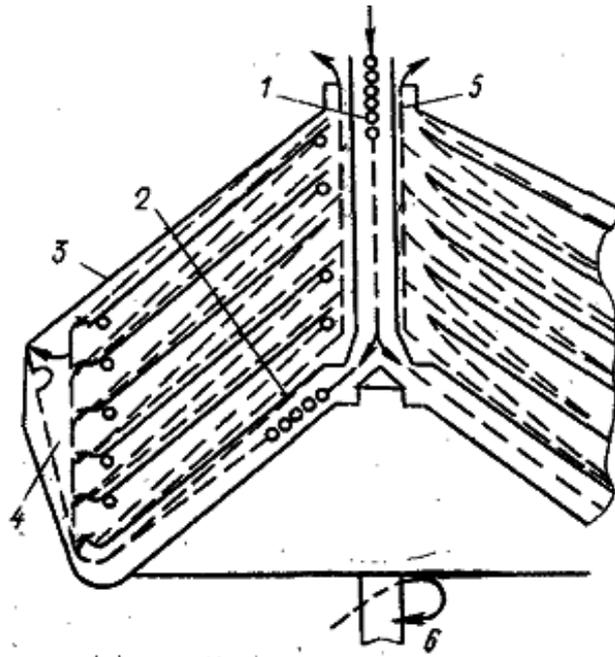


Рис. 9. Элемент жидкостного сепаратора:

- 1 – поступление исходного ила; 2 – пакет тарелок; 3 – контур элемента сепаратора;
4 – сборник кека; 5 – выход жидкости; 6 – вал

Принцип действия этих сепараторов основан на том, что частицы, взвешенные в сепарируемой жидкости, в межтарельчатом пространстве подвергаются действию двух сил, из которых одна направлена радиально к периферии ротора, а другая – к центру. Под действием равнодействующей этих сил частицы осаждаются на внутренней поверхности пакета тарелок 2. Образующийся кек сдвигается центробежной силой к периферии ротора, где накапливается в сборнике 4 и выгружается периодически либо непрерывно через сопла. Осветленная жидкость (фугат) противоположным потоком выносится к оси вращения сепаратора и выводится наружу через трубу 5. В непрерывно действующих сепараторах с сопловой выгрузкой исходную суспензию можно уплотнять лишь до пастообразного продукта, так как более сухой кек забивает сопла.

Более надежная выгрузка кека обеспечена в саморазгружающихся тарельчатых сепараторах с автоматической пульсирующей выгрузкой обезвоженного осадка. В этих сепараторах обезвоженный осадок собирается в специальных бункерах, из которых выгружается автоматически через определенный заранее установленный интервал времени. Поскольку концентрация исходного осадка изменяется, установленное время между разгрузками часто оказывается либо недостаточным для обезвоживания осадка, либо чрезмерным, что препятствует нормальной работе выгрузочного устройства.

При использовании сепараторов соплового типа большое значение имеет диаметр сопел. Сопла диаметром 1,2 мм быстро заиливаются, при увеличении же диаметра сопел повышается влажность кека и усиливается вынос взвешенных веществ со сливом. На сепараторах с сопловой выгрузкой активный ил сгущается до концентрации 20–30 кг/м³. Наиболее эффективными являются сепараторы с непрерывной гидромеханической выгрузкой (типа НВ-600 и НВ-750), в которых активный ил сгущается до концентрации 40–50 кг/м³ при эффективности задержания сухого вещества в среднем 97 %.

Слив после сепараторов направляется на очистные сооружения. Для обеспечения устойчивой работы сепараторов необходимо устанавливать барабанные сетки, задерживающие частицы крупностью более 0,5 мм.

2.3. Аэробная стабилизация осадков

Аэробная стабилизация осадков осуществляется в открытых сооружениях типа аэротенков (стабилизаторах). Основными расчетными параметрами процесса являются продолжительность стабилизации и расход воздуха [11].

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким технологическим схемам (рис. 10). Применительно к очистным сооружениям без первичных отстойников рекомендуется применять схемы а и б, в соответствии с которой избыточный активный ил, образующийся в результате очистки неотстойной сточной воды, поступает в стабилизатор или непосредственно из вторичного отстойника (схема а), или после предварительного сгущения в илоуплотнителе (схема б).

При использовании схемы в осадок из первичных отстойников может подаваться в стабилизатор или сбрасываться в метантенках. Вариант отдельной обработки осадков наиболее целесообразен при расширении очистных сооружений. При этом осадок из первичных отстойников подается в существующие метантенки, а избыточный ил – в стабилизаторы.

Для получения стабилизированного осадка с хорошими фильтрационными свойствами процесс аэробной стабилизации рекомендуется проводить по схеме з, согласно которой в стабилизатор подают осадок из первичных отстойников и неуплотненный активный ил. Стабилизированный осадок направляется в уплотнитель, откуда основная часть уплотненного осадка рециркулируется в голову стабилизатора (рециркуляция не менее 10 %), а меньшая часть удаляется на последующую обработку.

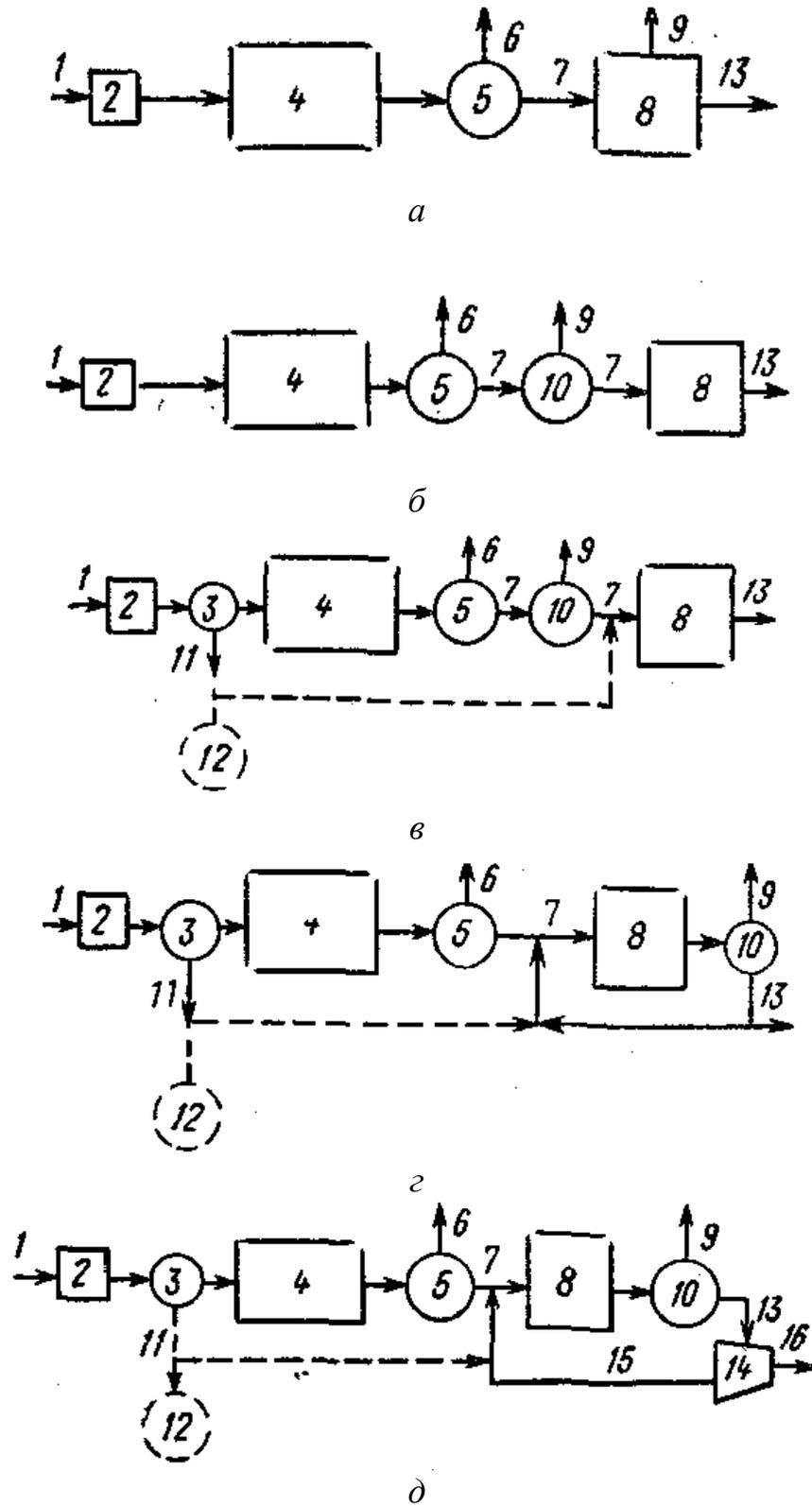


Рис. 10. Принципиальные схемы процесса аэробной стабилизации осадка:
 1 – подача сточной воды; 2 – решетка, песколовка; 3 – первичный отстойник;
 4 – аэротенк; 5 – подача сточной воды; 6 – очищенный сток; 7 – избыточный активный ил; 8 – стабилизатор; 9 – иловая вода; 10 – уплотнитель; 11 – осадок из первичного отстойника; 12 – метантенк; 13 – стабилизированный осадок; 14 – центрифуга;
 15 – фугат; 16 – обезвоженный осадок вторичного отстойника

При использовании этой схемы осадок промывается большим количеством воды, вследствие чего существенно улучшается его водоотдача.

Кроме того, благодаря сокращению времени пребывания осадка в стабилизаторе уменьшается охлаждение его в зимний период. Целесообразно предусматривать такую систему коммуникаций, которая позволила бы в зависимости от конкретных условий применить схемы, представленные на рис. 10, в и г.

Также возможна реализация по схеме д с использованием центрифуг, когда стабилизированный осадок обезвоживается на центрифуге, а фугат возвращается в стабилизатор. Конструкция стабилизатора отличается от аэротенка в основном тем, что обрабатываемые осадки вводятся в него в одной точке, а аэраторы размещаются по всей длине стабилизатора от торца до торца. Принимается не менее двух рабочих стабилизаторов.

Удаление влаги из осадков механическим путем является наиболее экономичным и распространенным методом снижения их влажности, массы и объема. Для механического обезвоживания осадков применяются вакуум-фильтры, фильтр-прессы и осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. Для эффективного обезвоживания на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах осадки необходимо предварительно обработать химическими реагентами, что позволит укрупнить мелкодисперсные и коллоидные частицы и перевести часть связанной влаги в свободное состояние. В качестве реагентов для коагуляции осадков при обезвоживании на барабанных вакуум-фильтрах и камерных фильтр-прессах применяются хлорное или сернокислородное железо и известь.

Дозы химических реагентов для коагуляции осадков зависят от удельного сопротивления осадков: чем оно выше, тем больше реагентов требуется для его снижения. Дозы химических реагентов в каждом конкретном случае устанавливаются экспериментальным путем по кривым снижения удельного сопротивления осадка.

Затраты на химические реагенты для коагуляции осадков составляют основную часть эксплуатационных затрат по обезвоживанию осадков на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах, поэтому доза коагулянта должна быть минимальной, но в то же время обеспечивающей достаточную производительность фильтров и удовлетворительное отделение обезвоженного осадка от фильтровальной ткани.

2.4. Установки с вакуум-фильтром

Для обезвоживания большинства видов осадков сточных вод применяют вакуум-фильтры непрерывного действия. Рабочий цикл вакуум-фильтров включает следующие операции: фильтрование, обезвоживание

(просушку), удаление обезвоженного осадка, регенерацию фильтровальной ткани. Фильтрация и обезвоживание осуществляют под действием вакуума. При этом на фильтровальной ткани вначале образуется слой отфильтрованного осадка, который затем обезвоживается (просушивается) атмосферным воздухом. Фильтрат (жидкая фаза) удаляется через вакуумную линию. Удаление обезвоженного осадка с поверхности фильтровальной ткани производится с помощью различных механических устройств либо отдувкой сжатым воздухом. Регенерация ткани производится с целью восстановления фильтрующей способности продувкой сжатым воздухом либо промывкой. В некоторых конструкциях серийно выпускаемых фильтров после осуществления первой просушки осадков предусмотрена возможность их промывки и второй просушки. При обработке осадков сточных вод эти операции не выполняются, для обезвоживания осадков сточных вод используют вакуум-фильтры с наружной фильтрующей поверхностью: барабанные, дисковые и ленточные. Барабанные вакуум-фильтры применяют для обезвоживания осадков с однородной крупностью и невысокой скоростью осаждения твердых частиц. Барабанный вакуум-фильтр (рис. 11) состоит из горизонтально расположенного вращающегося цилиндрического барабана, частично погруженного в корыто с осадком.

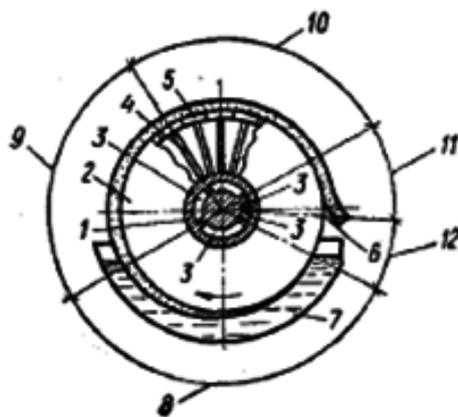


Рис. 11. Барабанный вакуум-фильтр:

- 1 – распределительная головка; 2 – цилиндрический барабан;
- 3 – камеры распределительной головки; 4 – отводящий коллектор; 5 – секция;
- 6 – нож для съема осадка; 7 – корыто с осадком; 8 – зона фильтрования;
- 9 – зона первой просушки; 10 – зона промывки и просушки; 11 – зона съема осадка;
- 12 – зона регенерации ткани

Барабан фильтра полый с двойными боковыми стенками, внутренняя стенка сплошная, а наружная перфорированная, обтянутая фильтровальной тканью. Кольцевое пространство между стенками разделено по окружности барабана на разобщенные секции, число которых может составлять от 16 до 32. Каждая секция имеет отводящий коллектор с выходом в один

из торцов барабана в специальную цапфу, к которой прижата ее подвижная распределительная головка. При вращении барабана секции последовательно переходят из одной рабочей зоны фильтра в другую, сообщаясь при этом с определенными камерами распределительной головки. В зоне 8 осадок, находящийся в корыте, фильтруется через ткань под действием вакуума. На поверхности фильтра образуется слой отфильтрованного осадка, а фильтрат через отводящий коллектор, а затем через камеру, сообщающуюся с вакуумной линией, отводится из фильтра. При переходе в зоны 9 и 10 осадок просушивается атмосферным воздухом, вытесняющим под действием вакуума влагу из пор осадка. Фильтрат и воздух отводятся из секций в общую вакуумную линию. В зоне съема осадка 11 в секции поступает сжатый воздух, способствующий отделению осадка от ткани. Обезвоженный осадок сбрасывается на конвейер. В зоне 12 производится регенерация ткани сжатым воздухом или паром. Фильтры БОУ имеют переменную частоту вращения барабана от 0,13–0,43 до 1,8–2 об/мин. Производительность фильтров тем больше, чем выше скорость вращения барабана и толще слой отфильтрованного осадка. Однако максимальная скорость вращения барабана ограничена из-за необходимости получения слоя осадка толщиной не менее 5 мм.

Более совершенны по конструкции барабанные вакуум-фильтры со сходящим полотном. Они снабжены специальной камерой, в которой фильтровальная ткань постоянно промывается водой или слабым раствором ингибированной соляной кислоты. Преимуществом этих фильтров является не только хорошая регенерация ткани, но и возможность отделять от нее достаточно тонкие слои осадка, вследствие чего можно увеличить скорость вращения барабана и, следовательно, повысить производительность фильтра в 1,5–2 раза по сравнению с производительностью фильтров типа БОУ.

Дисковые вакуум-фильтры (рис. 12) отличаются от барабанных большей площадью поверхности фильтрования и применяются для обработки больших объемов осадков. Область применения дисковых вакуум-фильтров и показатели их работы (удельная производительность и влажность осадка) такие же, как и у барабанных вакуум-фильтров. Наибольшее распространение дисковые фильтры получили при обработке осадков сточных вод предприятий черной металлургии и угольной промышленности. Фильтровальные элементы у этих фильтров выполнены в виде вертикальных дисков, обтянутых с обеих сторон тканью. Диски крепятся на горизонтально вращающемся валу, внутри которого расположены отводящие коллекторы. Число дисков в фильтре колеблется от 2 до 12, а общая площадь поверхности фильтрования – от 9 до 102 м². Распределительное устройство аналогично распределительному устройству барабанных вакуум-фильтров.

В небольших фильтрах распределительное устройство устанавливается на одном конце вала, а в более крупных – на обоих концах вала. К преимуществам дисковых фильтров следует отнести значительную площадь поверхности фильтрования, приходящуюся на единицу площади, занимаемой аппаратом, поэтому их установка особенно целесообразна в цехах с ограниченной производственной площадью. Ленточные вакуум-фильтры (рис. 13) применяют преимущественно для обезвоживания быстро расслаивающихся осадков с неоднородной крупностью частиц, например таких, как окалина, осадки систем газоочистки доменных и конверторных печей и т. д.

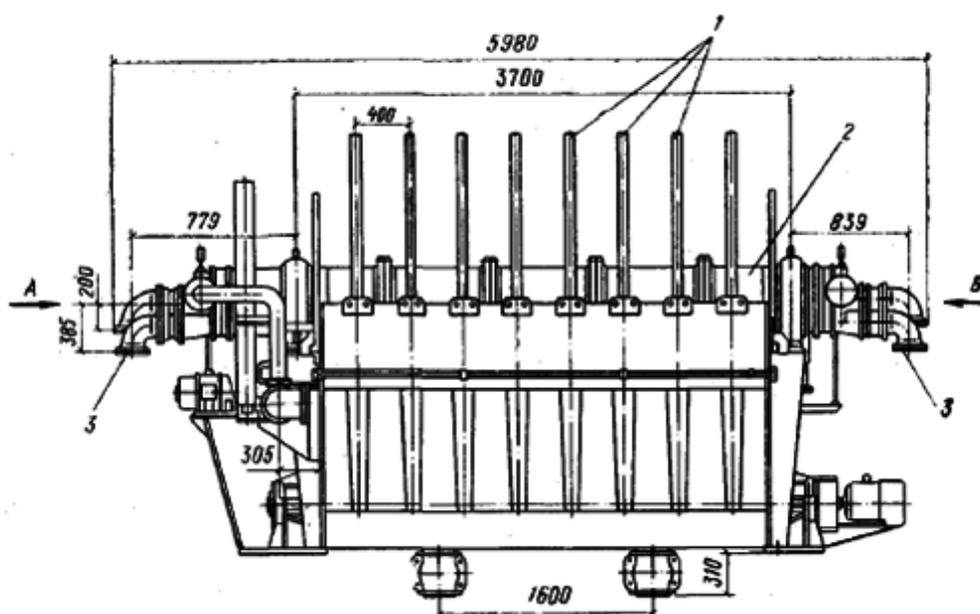


Рис. 12. Дисковый вакуум-фильтр:

1 – диски; 2 – вал; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача суспензии; 5 – перелив осадка

Ленточный вакуум-фильтр состоит из бесконечной ленты 6 и фильтровального стола 5. Посередине стола по всей его длине имеется продольная прорезь 9, сообщающаяся с расположенным ниже сборным коллектором фильтрата 7. Рабочая поверхность ленты имеет поперечные желоба 8 для отвода фильтрата и такие же, как в столе, продольные сквозные прорези. На ленту укладывается фильтровальная ткань 1, которая закрепляется в пазах резиновым шнуром 11. Верхняя рабочая ветвь ленты протягивается по фильтровальному столу так, что их продольные прорези совпадают. Края ленты загибаются кверху направляющими 10, вследствие чего лента принимает форму желоба. Фильтрат, образующийся в процессе обезвоживания, по поперечным пазам ленты отводится с внутренней стороны ткани и через продольные прорези поступает в сборный коллектор.

Преимуществом ленточного вакуум-фильтра является то, что направление движения потока при фильтровании совпадает с направлением действия силы тяжести. При фильтровании быстро осаждающихся суспензий сначала отделяются грубые частицы, образуя крупнокристаллический подслоя, через который идет дальнейшее фильтрование. При этом создаются оптимальные условия протекания процесса и повышается его скорость.

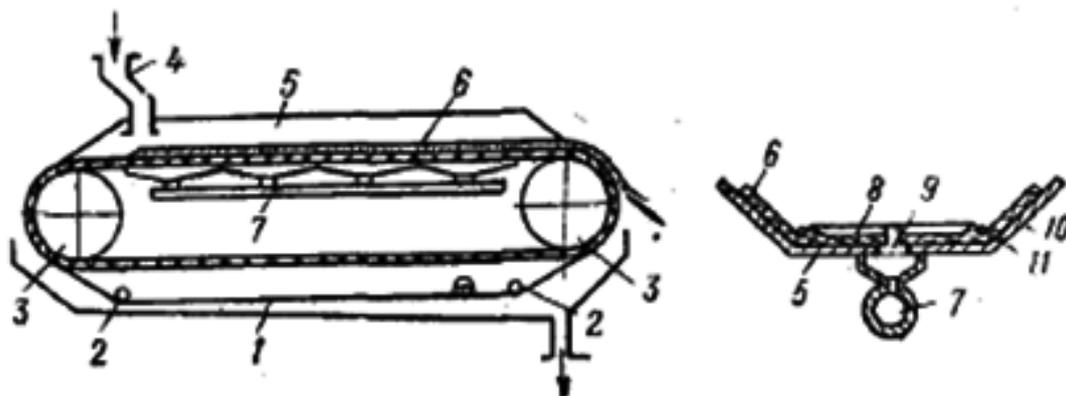


Рис. 13. Ленточный вакуум-фильтр:

- 1 – фильтровальная ткань; 2 – направляющие для фильтровальной ткани;
- 3 – барабаны; 4 – лоток для подачи осадка; 5 – фильтровальный стол;
- 6 – прорезиненная лента; 7 – сборный коллектор фильтрата;
- 8 – поперечный желоб для отвода фильтрата; 9 – продольная прорезь;
- 10 – направляющие для ленты; 11 – резиновый шнур

К недостаткам ленточного вакуум-фильтра следует отнести его сравнительно большие габариты. Для нормальной работы установок с вакуум-фильтрами необходимо вспомогательное оборудование; вакуум-насосы, воздуходувки, ресиверы, центробежные насосы в устройства, обеспечивающие стабильное питание фильтра. Комплектация фильтров необходимым оборудованием производится заводом-поставщиком.

2.5. Обезвоживающие установки с центрифугами

Для обезвоживания используются установки с центрифугами.

Непрерывно действующие осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой обезвоженного осадка типа ОГШ рекомендуется применять на городских станциях аэрации производительностью до 100 тыс. м³/сут. На рис. 14 приведена схема устройства центрифуги.

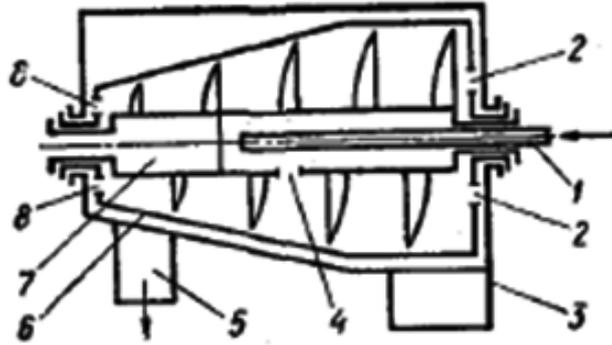


Рис. 14. Схема устройства центрифуги ОГШ:

- 1 – труба подачи осадка; 2 – отверстия для слива фугата; 3 – сливная труба;
 4 – отверстие для поступления осадка в полость ротора; 5 – труба сброса обезвоженного осадка; 6 – ротор центрифуги; 7 – шнек; 8 – выгрузочные окна

Обезвоживаемый осадок подается в трубу 1 полого шнека 7 и через отверстие 4 попадает в приемную камеру ротора 6. Под действием центробежной силы наиболее тяжелые частицы твердой фазы осадка отжимаются к внутренней поверхности ротора, перемещаются шнеком и выгружаются через окна 8 и трубу бункера 5. Фугат вытекает через сливные отверстия 2 и сливную трубу 3. Для работы вакуум-фильтров необходимо вспомогательное оборудование (вакуум-насосы, воздуходувки, ресиверы, центробежные насосы) и устройства, обеспечивающие их стабильное питание. Комплектация фильтров необходимым оборудованием производится заводом-поставщиком. Рекомендуемая схема технологического процесса центрифугирования осадков приведена на рис. 15.

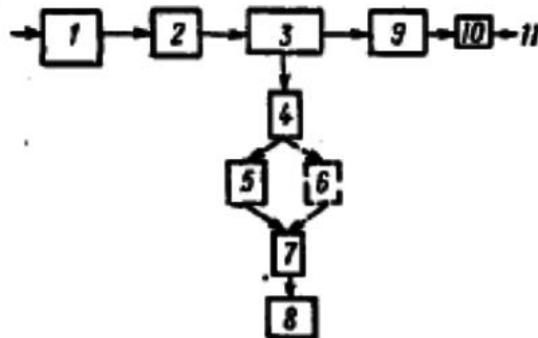


Рис 15. Схема технологического процесса центрифугирования осадков:

- 1 – резервуар-регулятор расхода осадка; 2 – решетки-дробилки; 3 – центрифуги;
 4 – ленточные транспортеры; 5 – камера дегельминтизации; 6 – сушилка;
 7 – бункер сбора осадка; 8 – бункер или площадка для складирования обезвоженного осадка; 9 – емкость для сбора фугата; 10 – насос для откачивания фугата;
 11 – подача фугата на последующую обработку

Осадок подается в резервуар-регулятор расхода осадка 1, откуда самотеком поступает на центрифугу 3. Перед центрифугой устанавливается решетка-дробилка РД-200 или решетка с прозорами не более 16 мм. Для выделения из осадка песка перед центрифугами могут устанавливаться гидроциклоны. Обезвоженный осадок непрерывно выгружается из центрифуги на ленточный транспортер 4 и затем обрабатывается в камерах дегельминтизации 5 или термической сушкой 6. Обработанный осадок транспортером 7 подается в бункер 8 или на площадки складирования. Фугат, полученный при разделении осадков и собранный в емкости 9, самотеком или насосом 10 направляется для дальнейшей обработки. В связи с большим содержанием взвешенных веществ в фугате при его сбросе на очистные сооружения нагрузка увеличивается на 25–35 %. Для предотвращения увеличения нагрузки на очистные сооружения рекомендуются следующие схемы центрифугирования и обработки фугата:

1) центрифугирование активного ила из вторичных отстойников или флотаторов с выделением избыточного активного ила и использованием фугата в качестве части циркулирующего ила для очистки сточных вод в аэротенках. Число центрифуг рассчитывается по объему пропускаемого через них ила с учетом эффективности задержания сухого вещества и количества задерживаемого в центрифугах ила, которое должно соответствовать его приросту;

2) центрифугирование осадка из первичных отстойников или его смеси с избыточным активным илом с аэробной стабилизацией фугата или с аэробной стабилизацией уплотненного избыточного активного ила в смеси с фугатом от центрифугирования осадка на первичных отстойниках. Аэрация ведется в течение 7–10 сут при интенсивности $2-3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Минерализованный осадок уплотняется в течение 3–5 ч, после чего центрифугируется, а фугат вновь направляется на аэробный стабилизатор;

3) центрифугирование сброженных осадков с подсушкой фугата на иловых площадках с дренажем. Данная схема позволяет в 2–3 раза увеличить нагрузку на иловые площадки. Рост эффективности задержания сухого вещества осадка до 90–97 % при центрифугировании осадков достигается предварительной обработкой их флокулянтами катионного типа дозой 0,2–0,5 % массы сухого вещества. Типы флокулянтов и их доза должны уточняться в каждой конкретном случае. Осваиваются высокопроизводительные центрифуги с диаметром ротора 500 и 1000 мм для обезвоживания осадков с предварительной обработкой их флокулянтами.

2.6. Установки тепловой обработки осадков

Установки тепловой обработки предназначены для кондиционирования органических осадков сточных вод (сырых или сброженных) перед их механическим обезвоживанием [12]. Тепловая обработка осадков производится в интервале температур 180–205 °С и времени 0,5–2 ч. Значения параметров тепловой обработки устанавливаются опытным путем по снижению удельного сопротивления осадков. При отсутствии опытных данных следует принимать максимальные значения параметров. В процессе тепловой обработки происходит разложение (распад) органического вещества твердой фазы (ОВТФ) осадков. Степень распада ОВТФ зависит от исходных свойств осадков и параметров обработки. Для городских и близких к ним по свойствам осадков других сточных вод степень распада при температуре обработки 180–200 °С соответствует 50–60 %. Примерно 75–80 % распавшегося ОВТФ растворяется в жидкой фазе (иловой воде), а 20–25 % переходят в газообразное состояние.

2.7. Установки термической осушки осадков

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и снижения массы в объемах осадков сточных вод. Ее применение обеспечивает возможность эффективного удаления осадков с территорий очистных станций и их дальнейшей утилизации. Термическая сушка осадков производится на сушильных установках, состоящих из сушильного аппарата (сушилки) и вспомогательного оборудования, к которому относятся топки, включая системы топливоподачи, питатель, циклоны, скрубберы, тягодутьевые устройства, транспортеры и бункера, а также контрольно-измерительные приборы и автоматика. В зависимости от консистенции осадков, назначения и производительности установки для термической сушки могут применяться сушилки непрерывного действия: распылительные, барабанные, со встречными струями, со взвешенным слоем – кипящим и фонтанирующим, пневматические трубы, сушилки с механическими измельчителями и комбинированные. Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов, внешне сухой (влажностью 10–50 %) сыпучий материал. Для термической сушки механически обезвоженных осадков в нашей стране применяются барабанные сушилки. Барабанные сушилки работают по схеме с прямоточным движением осадка и сушильного агента, в качестве которого применяют топочные газы (рис. 16).

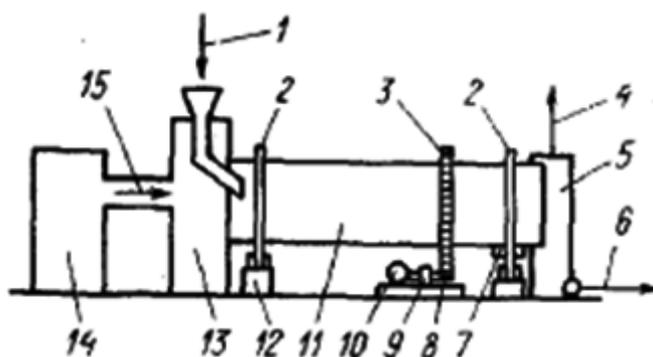


Рис. 16. Схема барабанной сушилки:

- 1 – загрузка кека; 2 – бандажи; 3 – зубчатый венец привода; 4 – отработавшие газы;
 5 – выгрузочная камера; 6 – выгрузка сухого осадка; 7 – упорные ролики;
 8 – ведущая шестерня; 9 – редуктор; 10 – многоскоростной электродвигатель;
 11 – вращающийся барабан; 12 – вращающиеся ролики; 13 – загрузочная камера;
 14 – топка; 15 – топочные газы

Сушильный барабан устанавливается наклонно к горизонту (максимальный уклон 3–4 °), вследствие чего под действием силы тяжести обеспечивается движение осадка вдоль барабана от его приподнятого (загрузочного) конца до более низкого (выгрузочного). Перемещению осадка также способствует попутное движение газов и вращение барабана. Частота вращения барабана равна 1,5–8 об/мин. Для равномерного распределения осадка по сечению барабана внутри сушилки устанавливаются насадки различного типа (винтовая, лопастная, секторная), для измельчения и перемешивания осадка в начале и конце сушилки дополнительно устанавливаются корабельные цепи, свободно подвешиваемые к внутренней поверхности барабана. Установка цепей позволяет устранить слипание осадка в начале сушилки, интенсифицировать процесс его сушки и избавляет от необходимости иметь в технологической схеме узел дробления сухого осадка.

Осадок, высушенный в барабанных сушилках, содержит большое количество пылевидных фракций, что осложняет его транспортирование и ухудшает санитарно-гигиенические условия работы в помещениях. Барабанные сушилки имеют большую единичную производительность, но малое напряжение по влаге. При высокой температуре отходящих газов возможно возгорание осадка.

2.8. Вакуум-сушилки

Вакуум-сушка рекомендуется для обработки осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточных вод с производительностью до 50 тыс. м³/сут [13]. Вакуум-сушке могут подвергаться отдельно сырой

осадок, активный ил или их смесь. Предварительно осадки подлежат концентрированию. Для станции производительностью до $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$ можно ограничиться гравитационным или флотационным уплотнением; при этом влажность осадков, подаваемых на вакуум-сушку, допускается до 97 %. При большей производительности станций осадки перед вакуум-сушкой надлежит центрифугированием концентрировать до влажности 85–90 %.

На рис. 17 приведена технологическая схема вакуум-сушки осадков с предварительным центрифугированием уплотненного активного ила до влажности 70–80 %.

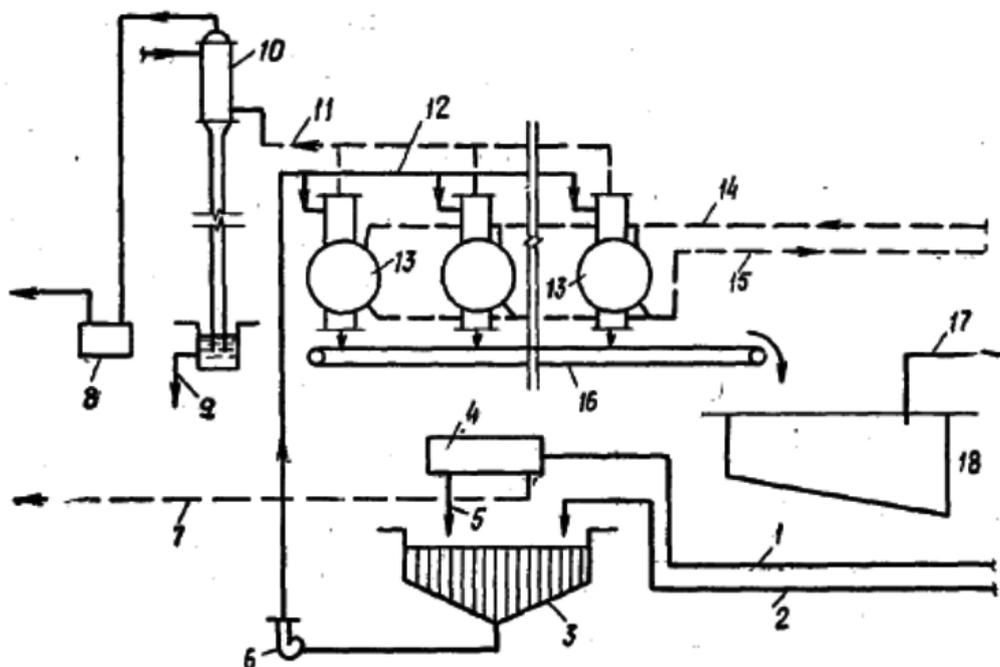


Рис. 17. Технологическая схема вакуум-сушки осадков:

- 1 – уплотненный избыточный активный ил; 2 – сырой осадок из первичных отстойников;
- 3 – резервуар-смеситель; 4 – центрифуга; 5 – центрифугированный активный ил;
- 6 – насос подачи осадков в сушилки; 7 – фугат в аэротенки; 8 – вакуум-насос;
- 9 – конденсат вторичного пара в канализацию; 10 – барометрический конденсатор;
- 11 – вторичный пар в конденсатор; 12 – исходный осадок в сушилки;
- 13 – вакуум-сушилки; 14 – греющий пар от котельной; 15 – конденсат в котельную;
- 16 – транспортер сухого осадка; 17 – сухой осадок на использование;
- 18 – бункер сухого осадка

Сырой осадок влажностью 93–95 % подается в резервуар-смеситель непосредственно из первичных отстойников. Влажность смеси осадков, поступающей в сушильные аппараты, составит 90–92 %. Концентрированные осадки в вакуум-сушильные аппараты подаются плунжерными насосами или растворонасосами. Вакуум-сушка осадков осуществляется в барабанных вакуум-сушилках гребкового типа (роторных). В результате вакуум-сушки

получают дегельминтизированный гранулированный сухой продукт с влажностью 30–40 % [14]. Сушка осадков осуществляется водяным паром с температурой насыщения 150 °С, подаваемым в обогревающие рубашки вакуум-сушилок.

2.9. Установки с печами кипящего слоя

Установки с печами кипящего слоя (КС) хорошо известны в технологии сушки и обжига в различных отраслях промышленности. Печь, представляющая собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри шамотным кирпичом или жаропрочным бетоном, состоит из цилиндрической топочной камеры и нижней конусной части с воздухораспределительной беспровальной решеткой. Вверху печь заканчивается куполообразным сводом. На решетку насыпается слой толщиной 0,8–1 м термически стойкого кварцевого песка фракции 4,6–2,5 мм. Кипящий (псевдооживленный) слой в печи образуется при продувании воздуха через распределительную решетку со скоростью, при которой частицы песка турбулентно перемещаются и как бы кипят в газовом потоке. Воздух нагнетается воздуходувкой в рекуператор, в котором подогревается отходящими из печи дымовыми газами до температуры 600–700 °С, и затем поступает в распределительную решетку под давлением 12–15 кПа. Расчет печей сводится к определению материального и теплового балансов процесса сжигания осадка, установлению геометрических размеров элементов печи, количества дополнительного топлива, воздуха и дымовых газов. Размеры печи КС определяют исходя из объема сжигаемого осадка и скорости воздуха в распределительной решетке. Эта скорость зависит от гидродинамического режима работы печи и принятой крупности песка, а также свойств сжигаемого осадка (влажности, зольности, дисперсности золы). Количество воздуха, необходимого для полного окисления органического вещества осадка, находят из его элементарного состава.

На рис. 18 показана схема установки с печью кипящего слоя по экспериментальному проекту. Обезвоженный осадок с влажностью 60–75 % и транспортером подается через загрузочный бункер и шнековый питатель в печь. Проходя топочную камеру, температура в которой 900–1000 °С, осадок подсушивается и рассредоточивается в кипящем слое, где происходит его интенсивное перемешивание с раскаленным кварцевым песком, а также измельчение агломератов осадка, мгновенное испарение влаги, выделение летучих органических веществ, сгорание коксового остатка и обжиг минеральной части. Весь процесс вследствие интенсивного массо-

и теплообмена длится не более 1–2 мин. Летучая часть горючей массы осадка полностью выгорает над кипящим слоем, в результате чего температура газа повышается. Первоначальная загрузка и последующее поддержание заданного уровня песка на решетке осуществляется через шлюзовый питатель. Песок (при необходимости его замены) может выгружаться снизу решетки через специальный шлюзовый затвор.

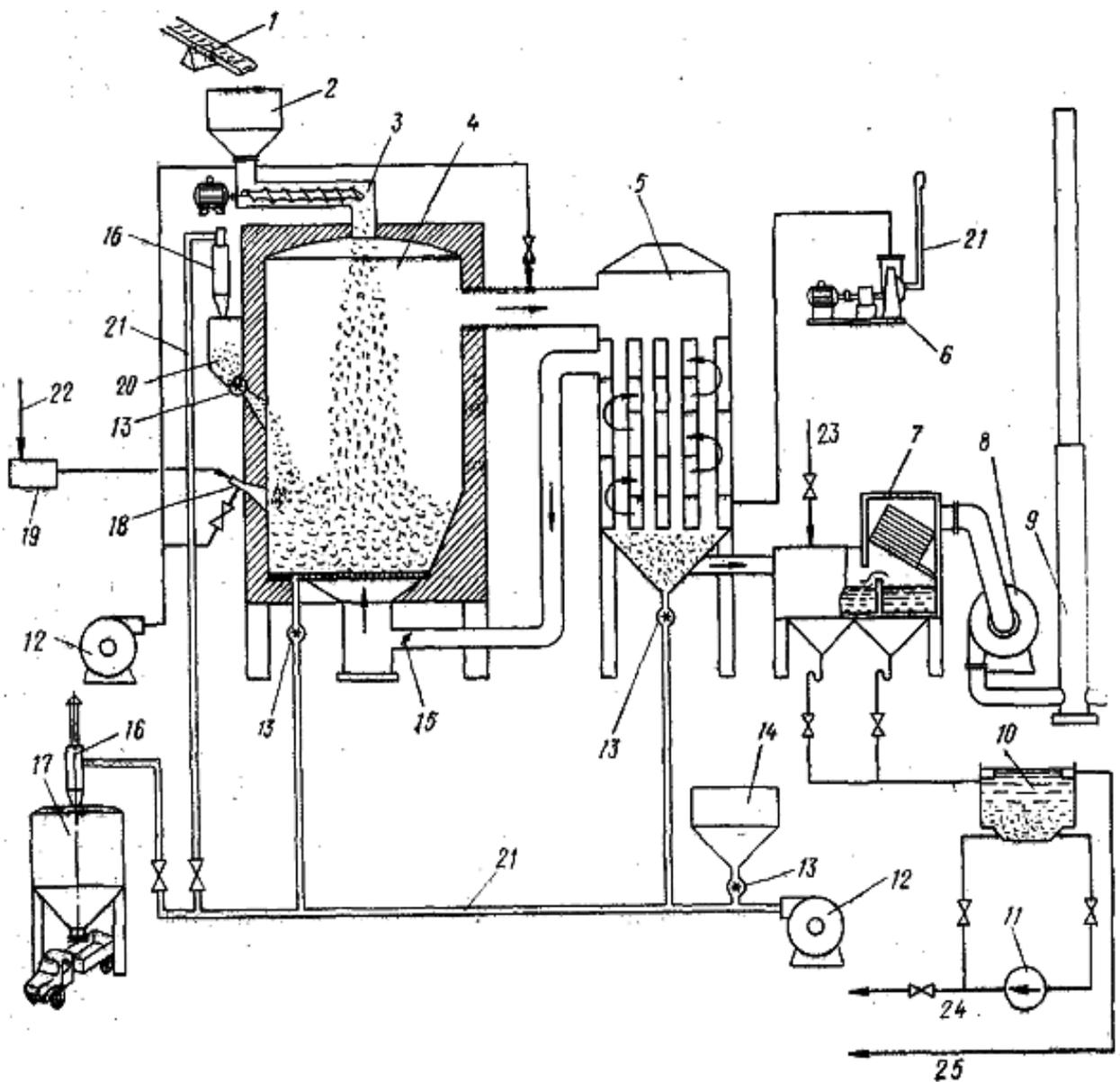


Рис. 18. Схема сжигания осадков в печи кипящего слоя:

- 1 – транспортер ленточный; 2 – бункер загрузки осадка; 3 – питатель шнековый; 4 – печь;
- 5 – рекуператор; 6 – воздуходувка; 7 – пылеуловитель мокрый; 8 – дымосос;
- 9 – труба дымовая; 10 – золовая емкость; 11 – насос перекачки золовой воды;
- 12 – вентилятор; 13 – питатель шлюзовый; 14 – бункер для песка; 15 – заслонка;
- 16 – разгрузитель циклонный; 17 – бункер выгрузки воды; 18 – горелка газовая;
- 19 – газорегуляционная установка; 20 – бункер-дозатор; 21 – воздуховод; 22 – трубопровод топливного газа;
- 23 – водопровод; 24 – золопровод; 25 – канализационный трубопровод

Мелкая зола и пыль выносятся из печи с потоком отходящих газов, которые поступают в рекуператор (воздухоподогреватель) для снижения температуры дымовых газов до 900 °С. Перед входом в рекуператор предусматривается принудительная подача холодного воздуха, количество которого регулируется системой автоматики. Нагнетаемый под давлением воздух проходит в межтрубном пространстве рекуператора и перемещается по принципу перекрестного противотока, для чего данное пространство рекуператора по высоте разделено перегородками. Нагретый воздух, проходя через решетку печи КС с расчетной скоростью, обеспечивает псевдоожижение в слое и поддержание в нем необходимой температуры горения. В том случае, когда собственной теплоты сгорания органической части осадка недостаточно для поддержания процесса горения, в печь через боковые горелки вводится дополнительное топливо. Для первоначального розжига печи, а также постоянной подсветки (в целях обеспечения устойчивости процесса сжигания) устанавливаются две-три газоздушные горелки низкого давления. Запыленные дымовые газы, охлажденные в рекуператоре, направляются на мокрую пылеочистку, где освобождаются от золы и пыли и выбрасываются в атмосферу.

К недостаткам печей кипящего слоя относятся большая запыленность уходящих газов и необходимость устройства рекуператоров; к достоинствам – отсутствие движущегося механизма в высокотемпературной зоне, достаточная интенсивность процесса, компактность установок, сжигание осадков с большим диапазоном влажности.

Контрольные вопросы

1. Что такое избыточный активный ил?
2. Для каких целей используются сепараторы на биологической очистной станции?
3. Для чего предназначена аэробная стабилизация осадка?
4. Расскажите о существующих схемах центрифугирования и обработки фугата.
5. В чем заключается принцип работы установок с печами кипящего слоя?

ГЛАВА 3. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Характеристика сточных вод различных отраслей промышленности

Для промышленных сточных вод характерен сложный состав, который непосредственно зависит от преобладающих технологических процессов.

Выделяют две группы производственных учреждений с учетом состава накапливаемых и смываемых примесей [15]:

первая группа включает предприятия, состав сточных вод которых приближен к составу поверхностного стока с селитебных зон. При этом в них не содержатся специфические токсические соединения. Примеси представлены грубодисперсными веществами, нефтепродуктами, минеральными солями, природными органическими соединениями. Эта группа включает предприятия черной металлургии, приборо- и машиностроения, пищевой, нефтяной, химической и прочих отраслей промышленности;

вторая группа объединяет заводы, производственные процессы на которых приводят к поступлению токсических соединений или чрезмерному количеству органических соединений в поверхностный сток. К ней принадлежит цветная металлургия, химическая, лесохимическая, микробиологическая промышленности.

Стандартных технических решений по очистке сточных вод предприятия не существует, поэтому в настоящее время осуществляется поиск новых методов и решений, вовлекающих в процесс очистки отходы производства в качестве вторичных материальных ресурсов.

Сточные воды энергетического комплекса

Предприятия энергетического комплекса являются одними из основных потребителей природной воды. По экспертным оценкам на их долю приходится до 70 % общего промышленного потребления воды, около 90 % которой сбрасывается в поверхностные водоёмы в виде сточных вод, в том числе 4 % загрязнённых. Предприятия энергетического комплекса используют большой объём чистой воды, который подаётся на пополнение оборотных систем водоснабжения или при прямоточной системе после использования отводится в водоёмы [16, 17].

Главные источники потоков загрязнённых вод, возникающих на предприятиях энергетического комплекса, можно разделить на следующие типы:

- охлаждающие воды;
- сточные воды от смывания шлаков и транспортировки золы и мойки оборудования;
- сточные воды систем гидрозолоулавливания (для тепловых электростанций, работающих на твёрдом топливе);
- сточные воды от регенерации фильтров или блочных обессоливающих установках;
- сточные воды от промывки котлов, подогревателей воздуха и электрофильтров;
- сточные воды от кислотных промывок;
- нефтезагрязнённые сточные воды, растворы и суспензии, возникающие при обмывах наружных поверхностей нагрева (воздухоподогревателей и водяных экономайзеров котлов, сжигающих сернистый мазут, и др.);
- сточные воды моющих установок;
- сточные воды от десульфуризации и очистки отходящих газов;
- поверхностные стоки с территории предприятия, включая воды с площадок хранения топлива [18].

Сточные воды нефтеперерабатывающей промышленности

Нефтесодержащие сточные воды образуются на заводах многих отраслей промышленности, в том числе на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), нефтяных терминалах, машиностроительных и авторемонтных заводах. Большое разнообразие сточных вод, образующихся на НПЗ топливно-масляного профиля, загрязнённых разными по природе веществами, послужило основой их разделения на предприятиях на две системы канализации: в первую систему отводятся нейтральные сточные воды и стоки с поверхности территории, после очистки часть воды используется в подпитке оборотных систем; во вторую – солесодержащие воды, а также технологические сточные воды, загрязнённые различными реагентами, органическими и неорганическими загрязняющими веществами и проч.

Сточные воды НПЗ включают в себя следующие загрязняющие вещества: взвешенные вещества, нефтепродукты, масла, фенол, карбамид, ароматические углеводороды, аммонийный азот, парафины, сульфаты, жирные кислоты, поверхностно-активные вещества и др. Наибольшую

опасность представляют сточные воды электрообессоливающих установок (ЭЛОУ), содержащие до 30–40 г/л нефтепродуктов, до 15 г/л хлоридов; их высокая минерализация препятствует их использованию в оборотном водоснабжении.

Остальные виды сточных вод НПЗ содержат нефтепродукты (от нескольких до сотен миллиграммов на 1 л), сероводород, аммиак, меркаптаны, сульфиды, фенолы. БПК колеблется от 100 до 850 мг $O_2/дм^3$, ХПК – от 150 до 1700 мг $O_2/дм^3$. Периодически образуются сернисто-щелочные сточные воды, нуждающиеся в специальной очистке. Кроме того, на очистные сооружения завода часто подаются хозяйственно-бытовые сточные воды от завода и жилых посёлков, как правило, расположенных поблизости.

Сточные воды химической промышленности

Для каждого типа предприятий химической промышленности характерен свой состав сточных вод, что требует индивидуального подхода при выборе метода и оборудования для их очистки.

При производстве аммиака наиболее загрязнёнными являются сточные воды установок медно-аммиачной и щелочной очистки газа и регенерации медно-аммиачного раствора. Очистку сточных вод от аммиака производят различными методами (электролиз, паровая отдувка, ионный обмен и т. д.). Очищенную и подготовленную воду используют в системах оборотного водоснабжения и питания котлов теплоэлектростанций.

Получение карбамида, наиболее востребованного азотного удобрения, связано с образованием большого количества реакционной воды. Сточными водами при производстве карбамида являются также конденсат острого пара; вода, образующаяся при охлаждении сальников плунжерных насосов; смывы с полов и другие неорганизованные сбросы сточных вод.

При производстве серной и соляной кислот образуются сточные воды с остаточным содержанием применяемых и обрабатываемых продуктов. Для их нейтрализации применяют известковые или доломитовые фильтры. Производство фосфорной кислоты и фосфорных удобрений сопряжено с образованием сточных вод с высоким содержанием общего фосфора.

Серьёзным источником химически загрязнённых сточных вод являются крупнотоннажные производства основного органического и нефтехимического синтеза: акрилонитрила; синтетических жирных кислот, бутадиена, изопрена, фенола и ацетона, искусственных волокон, синтетических

полимеров и пластмасс, минеральных пигментов; масляных и водоэмульсионных красок, капролактама; метанола, поверхностно-активных веществ (ПАВ), горного воска и др.

3.2. Утилизация твердых промышленных отходов

Особенностью научно-технического прогресса является увеличение объема общественного производства, в результате развития которого в хозяйственный оборот вовлекается все большее количество природных ресурсов. Однако степень их рационального применения в целом весьма низкая – ежегодно используется около 10 млрд т минеральных и почти столько же органических сырьевых продуктов. Разработка и утилизация большинства важнейших полезных ископаемых в мире происходят быстрее, чем разведка их запасов. Около 70 % затрат в промышленности стран СНГ приходится на сырье, материалы, топливо и энергию, в то же время от 10 до 99 % исходного сырья превращается в отходы, сбрасываемые в атмосферу и водоемы, загрязняющие землю [16].

В настоящее время вопросам утилизации твердых промышленных отходов уделяется особое внимание, так как данное направление является одним из ключевых элементов энергоресурсосбережения. Накопление значительных масс твердых отходов во многих отраслях промышленности обусловлено существующим уровнем технологии переработки соответствующего сырья и недостаточностью его комплексного использования. Удаление отходов и их хранение выступают дорогостоящими мероприятиями, так как проведение данных процессов требует значительных эксплуатационных затрат и выплат штрафов в соответствии с классом токсичности отходов экологическим службам. В металлургических производствах, на тепловых электрических станциях и углеобогатительных фабриках затраты на них составляли примерно 8–30 % стоимости основной продукции. Между тем в отвалы и шламохранилища ежегодно поступают огромные массы отходов обогащения и переработки минерального сырья.

На данном этапе развития науки и техники все виды отходов производства делятся на вторичные материальные ресурсы и отходы, повторное использование которых нецелесообразно из-за высоких экономических вложений в процесс переработки. Во всех странах мира, включая Россию, основная масса отходов накапливается, складывается или захороняется. Ряд стран для захоронения используют море [10].

Под утилизацией отходов следует понимать комплексную их переработку с целью получения промышленной либо другой продукции. Утилизация тесно связана с рациональным использованием природных ресурсов [11]. Успешное решение вопросов утилизации приводит к тому, что

взамен понятия «отходы производства» возникает более целесообразное понятие – «вторичное сырье», имеющее отношение не только к основному производству, но и к системам регенерации, рекуперации и очистке промышленных выбросов [11]. Задача утилизации промышленных отходов тем более актуальна, что организация производства продукции на их основе требует затрат в 2–3 раза меньше, чем для соответствующих производств на основе специально добываемого природного сырья. Кроме того, увеличение комплексности использования минерального сырья при одновременном решении задач защиты окружающей среды способствует сокращению потребления ряда его видов.

Классификация промышленных отходов, образующихся в результате производственной деятельности человека, необходима как средство установления определенных связей между ними с целью выявления оптимальных путей использования или обезвреживания отходов. Классификация промышленных отходов по видам представлена на рис. 19. При дальнейшей детализации производственные отходы делят на две основные группы – отходы производственного процесса и отходы производственного потребления.

К первой группе относят отходы с комплексным характером обработки исходного сырья, где ее результатом является товарный продукт и отход, при этом структура исходного материала не изменяется.



Рис. 19. Классификация промышленных отходов

Вторая группа включает в себя все отработанные на предприятии предметы потребления. Выбор направления использования отходов как техногенного сырья преследует цель достижения максимальной экономии ресурсов и энергосберегающего эффекта с улучшением при этом экологической обстановки.

3.3. Применение в процессе биосорбционной очистки сточных вод отходов производства

Научный и прикладной интерес представляет совместное применение некоторых методов очистки сточных вод, причем не последовательная их комбинация в общей схеме очистки, а параллельное протекание нескольких процессов на одном из этапов. Примером такой очистки может служить объединение двух технологий: физико-химической (адсорбционной) и биологической.

В качестве адсорбционного материала зачастую используются активированные угли. Однако в настоящее время российскими и зарубежными учеными активно ведутся исследования адсорбционных свойств материалов различных отходов производства.

При комплексном использовании сырьевых материалов промышленные отходы или побочные продукты одних производств являются исходными материалами других. Подобное использование сырья логически обусловлено потребностями развития народного хозяйства на современном этапе. Важность комплексного использования сырьевых материалов можно рассматривать в нескольких аспектах.

Во-первых: утилизация отходов позволяет решать задачи по охране окружающей среды; освобождать ценные земельные угодья, отчуждаемые под отвалы и шламохранилища; устранять вредные выбросы в окружающую среду. Во-вторых: отходы промышленности в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отраслей в сырье, причем во многих случаях высококачественном, подвергнутом в процессе производства первичной технологической обработке (измельчению, обжигу и т. д.). В-третьих: при комплексном использовании сырья снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок их окупаемости; снижаются также непроизводительные расходы основного производства, связанные со складированием отходов, строительством

и эксплуатацией хранилищ для них; уменьшаются затраты, расход теплоты и электроэнергии на новую продукцию за счет технологической подготовленности отходов; увеличивается производительность оборудования.

К настоящему времени, учитывая эффективность применения многих минеральных и органических отходов в качестве сырьевых ресурсов, отходами их можно считать лишь по отношению к целевой продукции предприятий [8].

Значительная часть твердых промышленных отходов может быть использована в народном хозяйстве [9]. Вовлечение вторичных отходов в хозяйственный цикл приведет к экономии сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов, сокращению отчуждения площадей земель, пригодных для сельскохозяйственного и другого использования, повышению уровня здоровья человека.

В качестве адсорбционных материалов в настоящее время используются такие отходы производства, как: отходы пищевой и легкой промышленности, энергетики, нефтехимической отрасли и т. д.

В предлагаемой технологии в качестве отхода производства используется карбонатный шлам водоподготовки.

Карбонатный шлам является отходом водоподготовки ТЭС, образующимся на стадии известкования и коагуляции природных вод. Химический состав представлен преимущественно (% масс.): Ca^{2+} – 87, Mg^{2+} – 9,7, CO_3^{2-} – 71,7, OH^- – 10,03, SO_4^{2-} – 5,7. Шлам содержит органические вещества – 12 % от общей массы образца, которые выявлены методом газовой хроматомасс-спектрометрии. Определены основные общетехнические свойства используемого шлама: зольность составляла 89,4 %, органический углерод – 11 %.

Карбонатный шлам адсорбирует загрязняющие примеси и выступает в качестве носителя клеток микроорганизмов-деструкторов, поэтому можно говорить о том, что происходит процесс биосорбционной (адсорбционно-биологической) очистки сточных вод.

3.4. Экспериментальное исследование биосорбционной технологии карбонатным шламом на Казанском заводе синтетического каучука

Промышленность синтетического каучука является одной из ведущих отраслей нефтехимического производства, в состав которого входят:

производство каучука, исходных мономеров, вспомогательных продуктов, применяемых в процессах синтеза каучука и мономеров, вспомогательные цеха, склады.

В связи со значительным ростом производства синтетического каучука вопрос о санитарном состоянии водоемов, куда сбрасываются промышленные стоки заводов синтетического каучука, становится все более актуальным. Санитарная защита водоемов от загрязнения их сточными водами производства синтетического каучука может быть обеспечена лишь при проведении широкого круга технологических и организационно-технических мероприятий. Комплекс этих мероприятий нельзя разрывать, искусственно выделяя в нем отдельные стороны, в противном случае не будет оптимально решена проблема санитарной защиты водоемов, служащих приемниками сточных вод заводов синтетического каучука.

ОАО «Казанский завод синтетического каучука», основанный в 1936 году, – одно из ведущих предприятий нефтехимической промышленности России. В настоящее время на предприятии выпускается свыше 160 наименований продукции, и номенклатура изделий постоянно расширяется. Предприятие ориентировано на выпуск каучуков специального назначения и продукции на их основе: натрий-бутадиеновый каучук, полисульфидные олигомеры, силиконовые, уретановые каучуки, герметики на основе силиконовых каучуков, автогерметики, латексы и пр. Продукция завода находит применение в самых различных отраслях промышленности стран СНГ и дальнего зарубежья.

В связи с высокой производительностью Казанского завода синтетического каучука на разных участках технологических процессов образуется значительное количество сточных вод. Общий объем сточных вод завода синтетического каучука составляет более 21 млн м³ в год. Из этого значения на промышленные стоки приходится порядка 6 млн м³/год, хозяйственно-бытовые – около 700 тыс. м³/год, а остальное количество приходится на условно чистые и ливневые стоки.

Сточные воды, подаваемые на очистные сооружения, представлены двумя группами.

Первая группа сточных вод состоит из промышленных стоков производства каучука, силиконовых каучуков, латекса, а также с производства тиокола (кроме щелочных вод после отмывки и диспергирования тиокола). Химически загрязненные сточные воды на Казанском заводе синтетического

каучука (КЗСК) поступают с участков вакуумных насосных систем, промывки аппаратов, с систем охлаждения оборудования, производства пластификатора, антифриза, пароэлектроустановок. В сточных водах данной группы могут присутствовать органические загрязнения такие как диэтиленгликоль, анионогенные синтетические поверхностно-активные вещества, формальдегид, формаль, этилхлоргексидин, триэтаноламин, бутанол, ацетат натрия, фталевый ангидрид, 2-этилгексанол, бензиловый спирт, нефтепродукты. В эту же группу стоков входят хозяйственно-бытовые и ливневые сточные воды с территории предприятия.

Вторая группа сточных вод состоит из щелочных, смешанных и обработанных стоков производства тиокола после операции отмывки дисперсии.

Степень эффективности процессов очистки сточных вод во многом определяет соотношение показателей БПК/ХПК, так как именно на основании данного отношения решается вопрос о целесообразности применения конкретного способа очистки сточных вод. В случае если соотношение БПК/ХПК составляет порядка 0,5–0,7, следует проводить традиционную биологическую очистку сточных вод в аэротенке. Если значение ниже 0,5, это свидетельствует о присутствии в водах биологически неразлагаемых примесей и имеет смысл совмещение процесса биологической очистки активным илом с прочими физико-химическими способами.

При проведении анализа сточных вод первой группы, поступающих на биологические очистные станции КЗСК, соотношение БПК/ХПК составляет порядка 0,25–0,3, на основании чего предлагается объединение двух технологий очистки: биологической и физико-химической (адсорбционной), где в качестве адсорбента применяется карбонатный шлам.

В предлагаемой технологии шлам водоподготовки адсорбирует загрязняющие примеси и выступает в качестве материала-носителя клеток активного ила, в связи с этим происходит процесс биосорбционной (адсорбционно-биологической) очистки сточных вод.

Для исследования механизма биосорбционной обработки стоков был проведен модельный эксперимент на реальных сточных водах первой (основной) группы Казанского завода синтетического каучука, в котором использовали пилотную установку, воспроизводящую работу сооружений биологической очистки – аэротенков и вторичных отстойников. Схема опытной установки представлена на рис. 20.



Рис. 20. Модельная установка

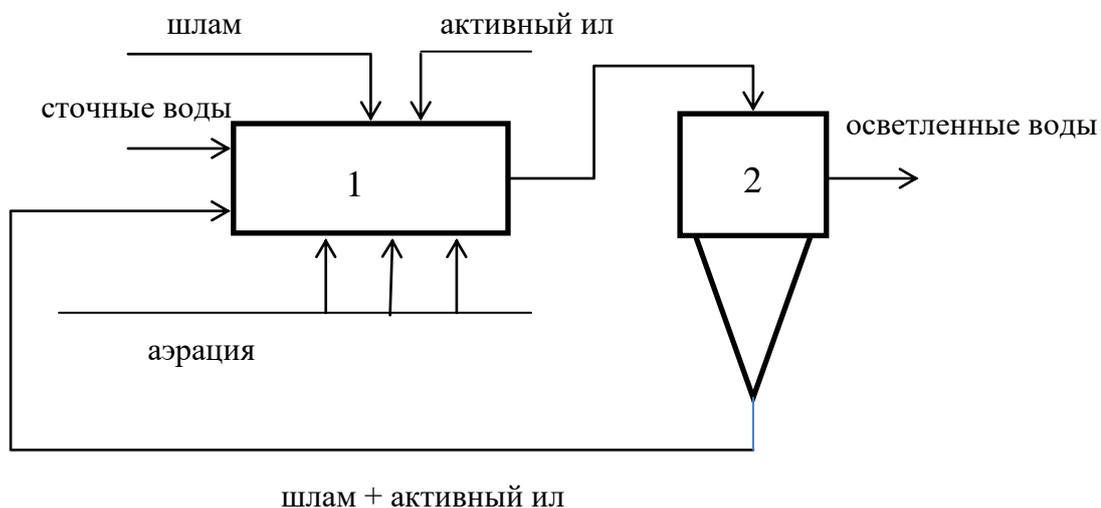


Рис. 21. Схема модельной установки:
1 – опытный аэротенк; 2 – опытный вторичный отстойник

Параллельно проводились исследования биохимической очистки сточных вод активным илом в контрольной установке, представляющей упрощенную модель сооружений биологической очистки.

Схема опытной установки представлена на рис. 21. Принцип работы пилотной установки состоял в следующем: сточные воды первой группы подавались на модельный аэротенк 1, в котором происходила пневматическая аэрация за счет атмосферного воздуха. Концентрация растворенного кислорода в аэротенке составляла не менее 2–4 мг/дм³. В аэротенк дозировали высушенный шлам осветлителей химводоочистки (ХВО) Казанской ТЭЦ-1 (влажность шлама $W = 3\%$).

Сточные воды в присутствии шлама и микроорганизмов активного ила пребывали в аэротенке в течение 12 ч, после чего самотеком перетекали во вторичный отстойник 2, где происходило разделение сточных вод и смеси шлама с активным илом за счет отстаивания в течение 2 ч.

Концентрация активного ила поддерживалась на том же уровне, что и в производственных аэротенках – 1,5–2,0 г/дм³.

Аналитический контроль показателей качества проводился в соответствии с унифицированными методами очистки сточных вод, состояние активного ила оценивали путем его микроскопирования. Установлено отсутствие негативного воздействия введенной дозы шлама на биоценоз аэротенков. При микроскопировании было обнаружено присутствие в значительном количестве круглоресничных инфузорий и коловраток в активном состоянии, что свидетельствует об удовлетворительном протекании биологического окисления.

В модельном эксперименте высушенный шлам вводился в аэротенк в количестве от 100 до 900 мг/дм³. В процессе исследований качества сточной воды изучалась зависимость концентрации фосфатов, аммонийного азота, БПК₅ и ХПК от концентрации добавленного шлама. Количественное измерение данных примесей проводилось из проб осветленной воды после вторичного отстойника.

Результаты по определению концентрации фосфат-ионов в очищенных сточных водах, полученные в процессе проведения испытаний биосорбционной и биологической очистки, представлены на рис. 22.

Зависимость, представленная на рис. 22 свидетельствует о том, что чем выше доза шлама, тем ниже концентрация фосфатов в стоке. Максимальное снижение примеси достигается при дозе, равной 900 мг/дм³. Очевидно, что биосорбционная очистка имеет более высокую эффективность, чем биологическая очистка стоков.

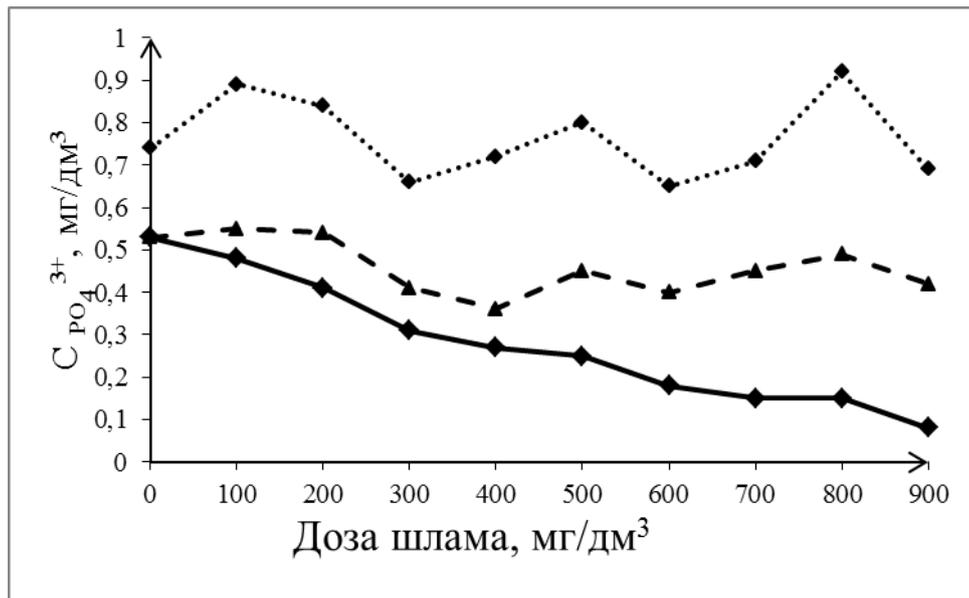


Рис. 22. Относительное изменение концентрации фосфатов:
 "..." – исходная концентрация фосфатов; "–" – биологическая очистка;
 "—" – биосорбционная очистка шламом ХВО

Полученные в процессе проведения экспериментов результаты по определению концентрации аммонийного азота в очищенных сточных водах представлены на рис. 23.

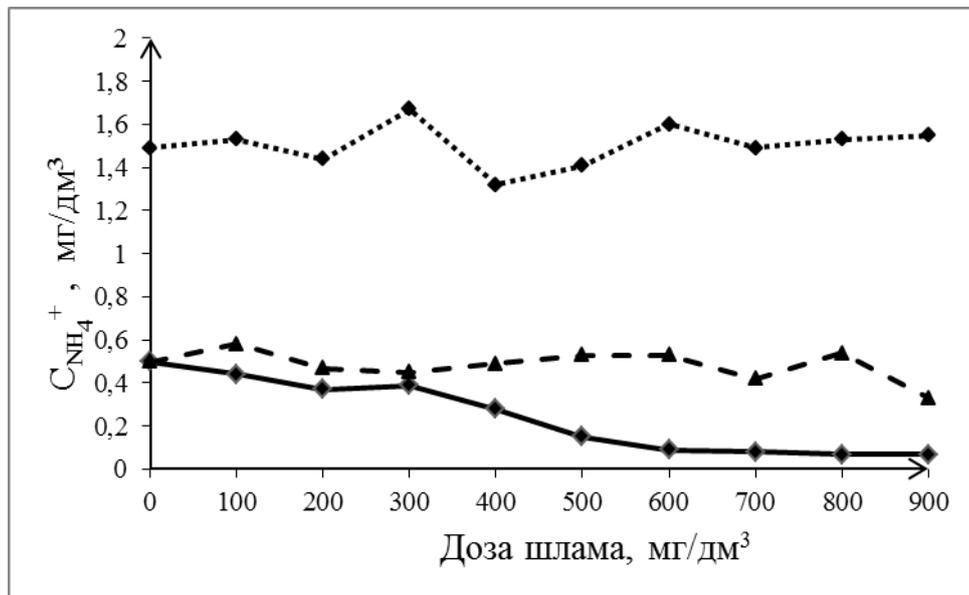


Рис. 23. Относительное изменение концентрации аммонийного азота:
 "..." – исходная концентрация аммонийного азота; "–" – биологическая очистка;
 "—" – биосорбционная очистка шламом ХВО

Из рис. 23 видно, что максимальное снижение концентрации аммонийного азота достигается при дозе шлама равной 600 мг/дм^3 . Дальнейшее увеличение вводимой дозы не влияет на эффективность протекания процесса биосорбции. При дозе шлама, равной 600 мг/дм^3 , биосорбционная очистка превосходит по эффективности традиционную биохимическую очистку по аммонийному азоту на 27 %.

Полученные в процессе проведения экспериментов результаты по определению БПК₅ в очищенных сточных водах представлены на рис. 24.

Биосорбционная очистка по показателю БПК₅ имеет также более высокую эффективность, чем биологическая очистка. Максимальный эффект биосорбции при очистке сточных вод по показателю БПК₅, как видно из рис. 24, достигается при дозе равной 700 мг/дм^3 .

Полученные в процессе проведения экспериментов результаты по определению ХПК в очищенных сточных водах представлены на рис. 25.

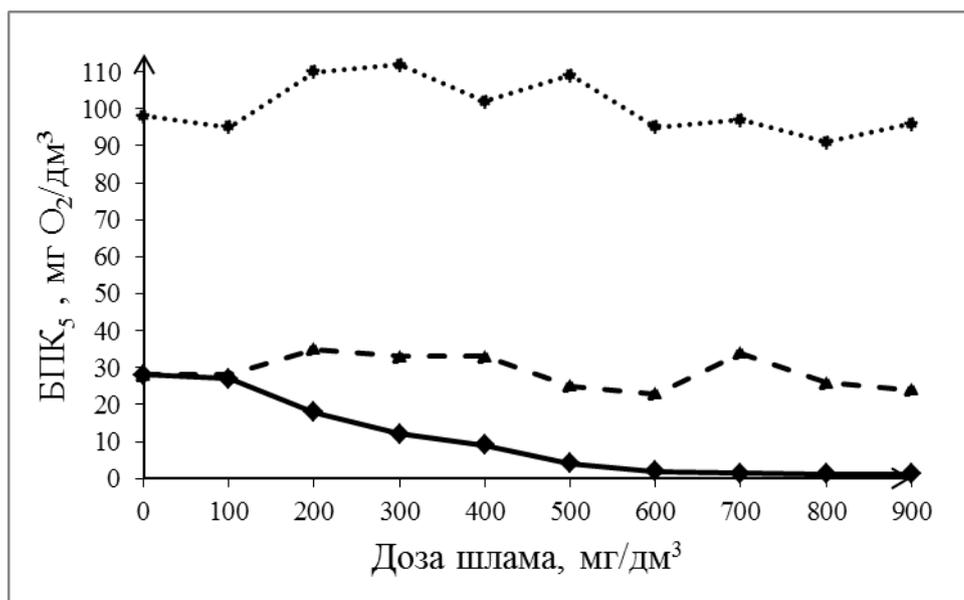


Рис. 24. Относительное изменение показателя БПК₅:
 "...—" — исходное значение показателя БПК₅; "—" — биологическая очистка;
 "—" — биосорбционная очистка шламом ХВО

В соответствии с рис. 25 максимальному снижению показателя ХПК соответствует доза шлама, равная 900 мг/дм^3 , биосорбционная очистка имеет преимущество над биологической.

Исходя из результатов экспериментальных исследований, представленных на рис. 22–25, видно, что биосорбционная очистка превосходит по эффективности традиционную биохимическую очистку в среднем на 34 %

по фосфатам, 27 % – по аммонийному азоту, 22 % – по БПК₅, 26 % – по ХПК. Максимальному снижению концентрации фосфатов и ХПК способствовала доза шлама, равная 900 мг/дм³, аммонийного азота – 600 мг/дм³, показателя БПК₅ – 700 мг/дм³.

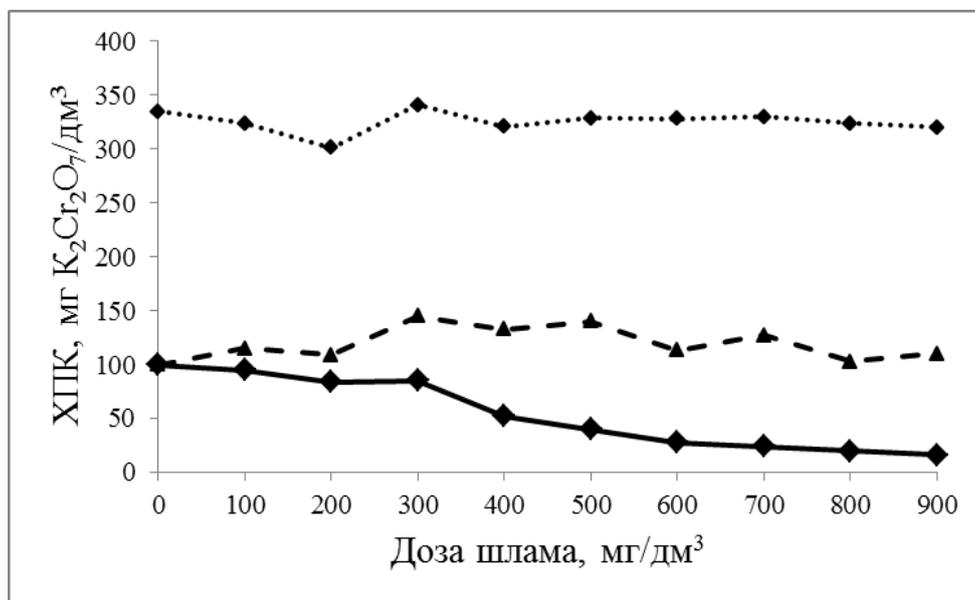


Рис. 25. Относительное изменение показателя ХПК:
 "...." – исходное значение показателя ХПК; "– –" – биологическая очистка;
 "—" – биосорбционная очистка шламом ХВО

В аэротенке совмещаются процессы сорбции и биохимического окисления за счет одновременного использования шлама и активного ила. Снижение БПК₅, ХПК, фосфатов, аммонийного азота сточной воды имеет место благодаря высокой сорбционной способности шлама по отношению как к бактериям и другим микроорганизмам, так и к самым различным классам органических соединений.

Установлено, что иммобилизация микроорганизмов способна существенно изменять параметры ферментативных реакций, при этом большая роль принадлежит природе и свойствам материалов-носителей, на которых осуществляется процесс прикрепления.

Представлен анализ используемого шлама ХВО методом масс-спектропии, показывающий, что значительная удельная поверхность шлама, наличие на ней большого числа активных центров обуславливают каталитические свойства шлама, используемые в процессе химической и биологической очистки воды. Шлам сорбирует значительное количество кислорода и служит катализатором химического и биохимического окисления высокомолекулярных соединений.

Шлам относится к сорбентам смешанного типа, так как его гранула имеет пористую структуру, содержащую макро-, микро- и переходные поры. В микропорах адсорбируются загрязняющие вещества, мезопоры выполняют транспортную функцию при диффузии загрязнений в микропоры, в макропорах происходит прикрепление и развитие биопленки активного ила.

При биосорбционной очистке протекает одновременно целый ряд взаимосвязанных процессов.

- адсорбция загрязняющих веществ поверхностью адсорбента;
- развитие биопленки;
- адгезионно-сорбционное изъятие загрязнений биопленкой;
- диффузия загрязнений внутри биопленки;
- биохимическое окисление загрязняющих веществ микроорганизмами, закрепленными на поверхности сорбента;
- отторжение биопленки от поверхности сорбента.

Безусловно, современные способы интенсификации биологической очистки сточных вод имеют огромное значение. Биосорбционные процессы сочетают преимущества физико-химических и биохимических методов очистки производственных стоков. При биосорбции одновременно протекают сорбция и биохимическое окисление сорбированных органических примесей, что позволяет значительно повысить степень и качество очистки сточных вод.

При биосорбционном методе очистки, реализуемом в аэротенках, при минимальных капитальных вложениях достигаются стабилизация системы очистки и высокие показатели качества очищенных сточных вод. Достоинством использования биосорбционных материалов также является простота их конструкции и условий эксплуатации.

3.5. Гидрохимические и технологические показатели качества осветленной воды вторичных отстойников после биосорбционной очистки

После стадии биосорбционной очистки воды, содержащей обработку стока активным илом и карбонатным шламом при дальнейшем отстаивании данных материалов во вторичном отстойнике, образуются осветленные воды, которые после обеззараживания попадают в водоем. Этим объясняется высокая значимость контроля вод на содержание различных загрязняющих веществ при введении нового способа биосорбционной очистки карбонатным шламом.

В связи с тем, что шлам относится к пятому классу опасности, не содержит токсичных примесей и в основном представлен соединением карбоната кальция, проведен контроль осветленной воды на остаточное содержание общей жесткости, рН, хлоридов, железа и сухого остатка при дозировании 900 мг/дм³ шлама ХВО. Кроме того, определена концентрация взвешенных веществ и илового индекса при реализации биосорбционной технологии очистки карбонатным шламом.

По результатам исследований осветленной воды (табл. 2) можно сделать вывод о том, что отклонения значения рН, содержания хлоридов, общего железа и сухого остатка от нормативов допустимых сбросов, установленных на КЗСК, отсутствуют.

В график лабораторного аналитического контроля состава сточных вод определение жесткости не включается, так как она практически не изменяется в процессе их биологической очистки. Однако при эксплуатации сооружений биологической очистки совместно с шламом очень важно знать значение жесткости очищаемых сточных вод, так как шлам в основном представлен соединением карбоната кальция. Предлагается сравнение значения с существующим нормативом ПДК в соответствии с СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода». При введении дозы шлама равной 900 мг/дм³ наблюдается повышение общей жесткости относительно нормы в 1,5 раза.

Таблица 2

Сравнительная оценка показателей качества осветленной воды
после обработки шламом ХВО

Показатель, ед.	Значение
Ж _о , мг-экв/дм ³	10,47
рН	7,9
СГ, мг-экв/дм ³	0,0052
Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,25
Сухой остаток, мг/дм ³	850,3

Значение жесткости существенно влияет на биохимическое окисление загрязняющих веществ и проявление токсичности различных поллютантов неорганической природы, присутствующих в сточных водах, а следовательно, на состояние ила и его биохимическую активность. Установлено, что

токсическое действие многих солей щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов снижается в жесткой морской воде. Физико-химически это явление объясняется тем, что высокоминерализованные воды, содержащие соли кальция, калия, натрия, магния и бария, снижают растворимость токсических веществ, образуя с ними нерастворимые соединения, в результате токсичность их в десятки раз уменьшается. С биологической точки зрения, снижение токсичности вышеупомянутых соединений в жесткой воде следует объяснить тем, что, с одной стороны, ионы кальция влияют на клеточную проницаемость, уменьшая тем самым проникновение яда внутрь клетки и, с другой стороны, повышают буферную способность воды. Поэтому токсичность солей тяжелых металлов и фторидов в мягкой и дистиллированной воде более высокая, чем в жесткой.

Таким образом, существует тесная зависимость устойчивости активного ила к ингибированию тяжелыми металлами в зависимости от жесткости очищаемых сточных вод [127]. Несмотря на то, что в рамках работы не рассматривается вопрос извлечения тяжелых металлов и снижения их токсического действия на активный ил, увеличение рН воды при введении шлама в сторону большей щелочности следует рассматривать как достоинство предлагаемой технологии.

Проведенные исследования свидетельствуют об отсутствии угнетающего воздействия шлама на микроорганизмы активного ила, однако при дозе шлама, равной 900 мг/дм³, происходит увеличение общей жесткости осветленной воды и «проскок» ионов кальция. Таким образом, несмотря на более выраженный эффект очистки сточных вод по снижению концентрации фосфатов, показателей БПК₅ и ХПК, дозирование шлама в количестве 900 мг/дм³ по сухому веществу следует признать не допустимым.

Рекомендуемая доза материала для введения в аппарат биологической очистки выбрана равной 600 мг/дм³ по сухому веществу. Данная доза шлама способствовала снижению в осветленных водах экспериментального аэротенка концентрации фосфатов в среднем на 72 %, аммонийного азота – на 94 %, значения БПК₅ – на 98 %, а так же ХПК – на 91 % [129]. Степень очистки сточных вод по всем исследуемым показателям при введении выбранной дозы соответствует нормам ПДК на сброс в водоем, что видно из табл. 4.3.

Таблица 3

Сравнительная оценка качества осветленной воды
при дозировании 600 мг/дм³ шлама

Показатель	Значение, мг/дм ³	Норматив на сброс в водоем, мг/дм ³
PO ₄ ³⁻	0,18	0,2
NO ₄ ⁺	0,09	0,5
БПК ₅	2	2
ХПК	28	–

Конструкция аэротенков-смесителей предполагает достаточно высокие нагрузки на активный ил, в связи с чем происходит его вспухание с повышением содержания нитчатых бактерий. Данный процесс влечет за собой увеличение илового индекса, повышенный вынос из сооружений биологической очистки взвешенных веществ. Подобная проблема характерна для очистных сооружений КЗСК, где на первой линии очистки в технологическую схему включены аэротенки-смесители.

Шлам представляет особый интерес на станциях очистных сооружений и по той причине, что он не только повышает показатели качества очищенных вод, но и выполняет функцию осадителя. На поверхности материала образуется биопленка из микроорганизмов активного ила, за счет которой происходит задержание биоценоза ила, следовательно, снижается его вымывание из аппаратов биологической очистки вод.

Для экспериментального подтверждения повышения седиментационных свойств активного ила проведен контроль очищенной воды на содержание взвешенных веществ и определение илового индекса.

Результаты опытных исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Относительное изменение концентрации взвешенных веществ
и илового индекса при дозировании шлама

Доза шлама, мг/дм ³	Содержание взвешенных веществ после отстаивания, мг/дм ³	Иловый индекс, см ³ /г
0	24,97	132
300	9,85	105
600	6,09	82
900	5,45	78

Полученные значения достигаются после отстаивания сточных вод во вторичном отстойнике в течение 2 ч. Дозирование шлама позволяет повысить эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам, так как образование на его поверхности биопленки способствует утяжелению активного ила, за счет чего повышаются его седиментационные свойства. Результаты исследований свидетельствуют о том, что максимальный эффект снижения взвешенных веществ достигается при дозировании шлама в количестве 600–900 мг/дм³ и после стадии отстаивания во вторичном отстойнике концентрация взвешенных веществ не превышает нормы допустимого сброса взвешенных веществ в водоем, которая составляет 15,6 мг/дм³.

Снижение значения илового индекса свидетельствует об эффективной работе систем биоочистки: не происходит вспухания ила, отсутствуют рыхлые мелкие хлопья, структура активного ила является удовлетворительной. Снижение илового индекса также объясняется щелочной природой шлама, так как повышение рН воды в сторону щелочности способствует снижению роста нитчатых бактерий и позволяет подавить вспухание активного ила. Наличие на поверхности шлама значительного количества заряженных ионов Ca²⁺ (в среднем 87 % масс.) способствует электростатическому взаимодействию материала с активным илом, который при условии $4 < \text{pH} < 9$ рассматривается как отрицательно заряженный. Таким образом, шлам вызывает конгломерацию частиц ила, что положительно сказывается на работе вторичных отстойников.

Так как шлам содержит в значительном количестве кальций, формирующий жесткую механическую структуру осадка, по причине которой происходит эффективное удаление влаги, повышается водоотдача осадка, что особенно важно при условии значительных сложностей удаления влаги из хлопьев активного ила. Размер частиц шлама в среднем составляет 1 мм, что является еще одним аргументом для проведения эффективного обезвоживания осадка, так как величина частиц существенно влияет на водоотдачу.

3.6. Кинетика биосорбционной очистки сточных вод шламом химической водоочистки

Кинетические экспериментальные исследования, устанавливающие зависимость снижения концентрации фосфат-ионов, аммонийного азота, показателей БПК₅ и ХПК во времени, проводились с целью определения механизма биосорбционной очистки сточных вод, оценки эффективности проведения процесса во времени.

Доза шлама соответствовала оптимальной для процесса биосорбционной очистки – 600 мг/дм^3 . Время проведения эксперимента составляло 12 ч. Концентрации примесей и значения показателей определяли каждый час в течение первых 4 ч, и через 12 ч с начала проведения эксперимента. Аналитический контроль качества воды проводился из проб, отобранных из модельного аэротенка. На рис. 26 представлена кинетическая зависимость снижения концентрации фосфатов.

Из рис. 26 видно, что кинетическая кривая изменения концентрации фосфатов показывает, что в течение первых 4 ч происходит резкое снижение фосфат-ионов, далее процесс протекает с меньшей скоростью и через 12 ч эффективность очистки составляет 72 %. При этом адсорбционное равновесие за исследуемый период не достигается.

Очистка от фосфат-ионов может объясняться аккумуляцией примеси в хлопьях ила. При высоких концентрациях элемента в хлопьях активного ила происходит накопление фосфатов, что может приводить к повышенным значениям концентрации загрязнителя в очищенных водах. Седиментационные свойства биоценоза активного ила при введении шлама интенсифицируются, снижается вынос ила из аэротенка, в связи с чем происходит уменьшение концентрации фосфатов.

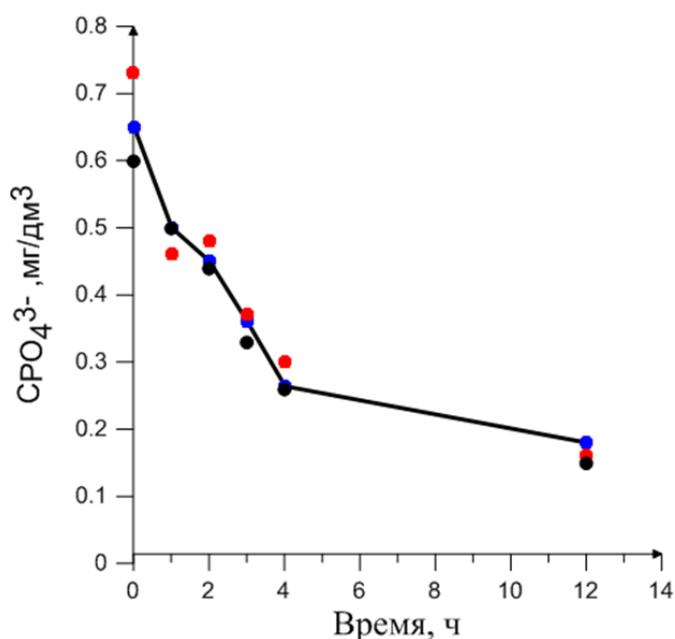


Рис. 26. Кинетическая кривая изменения концентрации фосфатов

Также при очистке сточных вод от фосфатов может происходить хемосорбция. Катионы Ca^{2+} способны вступать в реакцию с анионами PO_4^{3-} с образованием на поверхности шлама малорастворимых кристаллов фосфата кальция.

Вследствие значительной удельной поверхности материала удаление фосфатов проходит с высокой эффективностью.

Из рис. 27 видно, что кинетическая кривая изменения концентрации аммонийного азота показывает, что процесс очистки от загрязнителя реализуется в течение первых 3 ч контакта со сточной водой, далее происходит более плавное снижение и через 12 ч эффективность очистки составляет 94 %.

При введении карбонатного шлама происходит изменение значения рН в сторону щелочной среды ($pH = 7,9$), что приводит к увеличению скорости роста нитрифицирующих бактерий, реализующих окисление аммонийного азота до нитритов, а затем нитратов. Таким образом, создается оптимальная среда для проведения процесса нитрификации.

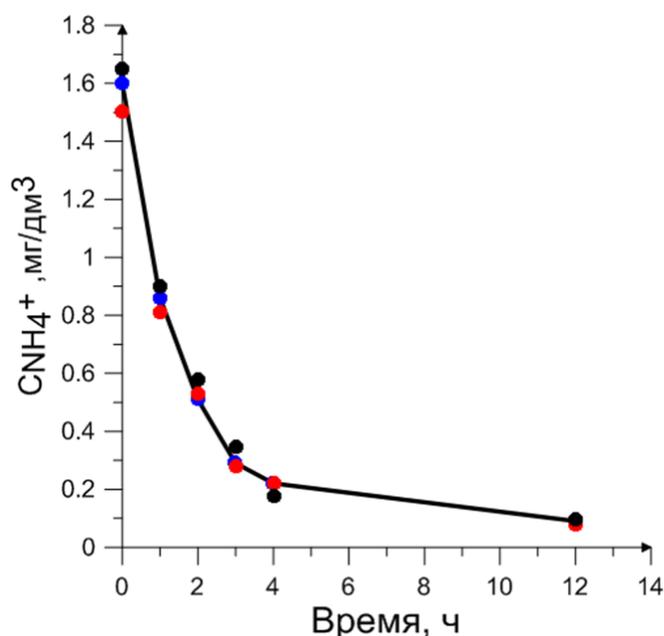


Рис. 27. Кинетическая кривая изменения концентрации аммонийного азота

Аммонийный азот эффективно удаляется за счет более интенсивной адсорбции и последующего окисления органического субстрата, влияющего на процесс нитрификации. Данный процесс реализуется за счет нитрифицирующих микроорганизмов, однако в случае наличия органических веществ в значительном количестве их окисление осуществляется гетеротрофами, потребляющими аммонийный азот в процессе конструктивного обмена, а также необходимый кислород. Гетеротрофы конкурируют с нитрифицирующими бактериями за данные элементы, в связи с чем происходит торможение процесса нитрификации. Интенсивная сорбция органических веществ карбонатным шламом способствует снижению их

количества в растворе, а дальнейшее окисление гетеротрофными микроорганизмами повышает эффективность удаления аммоний-иона.

Таким образом, эффективная очистка от аммонийного азота происходит за счет более полного удаления органических примесей и изменения значения рН, что влияет на интенсивный рост нитрифицирующих бактерий.

Интенсивное снижение показателя БПК₅ на рис. 28 в течение первых 4 ч сменяется более плавным. Подобное изменение БПК₅ объясняется тем, что при проведении процесса биосорбции происходит прикрепление активного ила к поверхности шлама с образованием биопленки, за счет которой эффективность очистки от органических загрязнений возрастает в первые часы контакта. При проведении биосорбционной очистки БПК₅ снижается на 98 %.

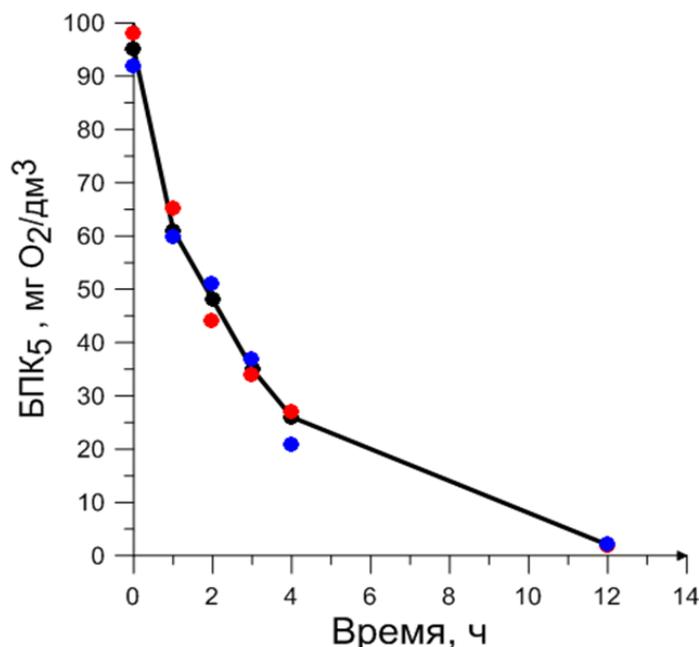


Рис. 28. Кинетическая кривая изменения БПК₅

Кинетическая кривая изменения показателя ХПК (рис. 29) демонстрирует, что в первые 2 ч контакта со сточной водой процесс биосорбции протекает с максимальной интенсивностью – концентрация уменьшается на 88 %, далее происходит более плавное снижение показателя с наступлением сорбционного равновесия. Эффективность очистки по показателю ХПК за время проведения эксперимента составляет 91 %. Резкое снижение показателя ХПК связано с сорбцией биорезистентных компонентов шламом ХВО.

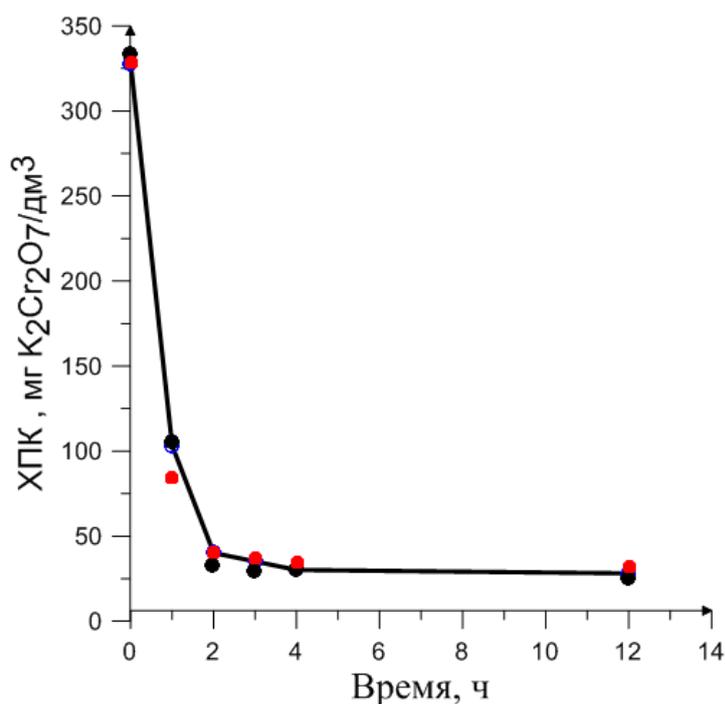


Рис. 29. Кинетическая кривая изменения ХПК

Кинетическая кривая изменения показателя ХПК (рис. 29) демонстрирует, что в первые 2 ч контакта со сточной водой процесс биосорбции протекает с максимальной интенсивностью – концентрация уменьшается на 88 %, далее происходит более плавное снижение показателя с наступлением сорбционного равновесия. Эффективность очистки по показателю ХПК за время проведения эксперимента составляет 91 %. Резкое снижение показателя ХПК связано с сорбцией биорезистентных компонентов шламом ХВО.

Внешний вид кинетических экспериментальных кривых изменения БПК и ХПК обусловлен совмещением двух протекающих процессов: адсорбция шламом и биохимическое окисление активным илом. Значительное снижение концентраций в первые часы свидетельствует о протекании физической сорбции шламом, которая обусловлена силами межмолекулярного взаимодействия. Дальнейшее постепенное снижение концентрации загрязняющих примесей свидетельствует о протекании их биологической трансформации, как и при проведении традиционной биоочистки. Характер кинетических кривых показывает, что процесс адсорбции имеет более высокую скорость, чем процесс биохимического окисления.

Процесс биосорбционной очистки воды происходит следующим образом: при дозировании шлама в модельный аппарат происходит

интенсивная сорбция примесей из сточных вод, а также сорбция кислорода на поверхности шлама. Далее происходит диффузия адсорбата и его окисление – физическая сорбция снижается во времени и одновременно происходит рост биопленки на поверхности шлама. Таким образом, начинает превалировать стадия биохимического окисления примесей сточных вод активным илом. В начальный период в этой стадии происходит закрепление и развитие микрофлоры в виде биопленки на шламе. В следующий период увеличивается вклад в биосорбционный процесс биохимического окисления растущей биопленкой, а после ее вызревания скорость биохимической очистки достигает максимального значения, и процесс биосорбции, как и большинство биохимических процессов, стабилизируется. Толщина образовавшейся биопленки, состоящей из микроорганизмов активного ила, зависит от места прикрепления к поверхности, вида потребляемых примесей и времени роста.

Следует учитывать, что активный ил также обладает сорбционными свойствами, однако значительно более слабыми, чем карбонатный шлам.

Исследуемые сточные воды содержат как биорезистентные, так и биоразлагаемые компоненты загрязняющих примесей. Адсорбционный метод имеет высокую эффективность при очистке сточных вод от биорезистентных примесей, проведение биохимического окисления наиболее оптимально для очистки от биоразлагаемых органических соединений. Достоинством применения шлама в качестве сорбента является возможность его частичной или полной биорегенерации, суть которой заключается в том, что при проведении адсорбции загрязнений в поры шлама не поддающиеся биологическому разложению примеси теряют свою резистентность, и в процессе десорбции подвергаются биохимическому окислению на биопленке, прикрепленной к шламу. Таким образом, происходит изъятие сорбированных биорезистентных загрязнений из пор сорбента, в связи с чем дополнительной регенерации материала не требуется. Вывод о способности шлама к биорегенерации сделан на основании резкого снижения показателя ХПК, учитывающего органические примеси любой природы.

Вычисление примерного периода аэрации в аэротенке можно произвести по следующей приближенной зависимости:

$$T = \frac{W}{q}, \quad (3.1),$$

где W – объем аэротенка, м³; q – часовой расход сточных вод, м³/ч.

Время контакта сточных вод с активным илом при проведении традиционной биологической очистки составляет:

$$T = \frac{12100}{771,91} = 15,67 \text{ ч.}$$

Как видно из рис. 26–29, при очистке сточных вод от фосфатов, аммонийного азота, БПК₅, ХПК методом биосорбции с применением карбонатного шлама возможно сокращение времени пребывания в аэротенке до 12 ч.

Таким образом, интенсификация очистки сточных вод обусловлена сорбцией примесей на поверхности шлама, которая снижается во времени, и образованием биопленки [20]. Результаты кинетических исследований свидетельствуют о том, что процесс биосорбции загрязнений шламом протекает с большей эффективностью за более короткий промежуток времени, чем процесс биохимической очистки сточных вод.

3.7. Модернизация технологической схемы очистки сточных вод первой линии Казанского завода синтетического каучука

Основными проблемами работы сооружений биологической очистки промышленных сточных вод являются как количественная, так и качественная нестабильность входных потоков, а также срывы эксплуатационных режимов. Система «аэротенк – отстойник» позволяет обеспечить нормируемые показатели только с 80 % вероятностью. При этом запас в объемах сооружений не может гарантировать увеличения вероятности в силу специфики этих систем [20, 21]. Таким образом, классическая схема биологической очистки оправдывает себя только при постоянстве состава сточных вод.

Подобная технологическая нестабильность также характерна для КЗСК им. С.М. Кирова. На заводе имеют место частые залповые сбросы и «пиковые» нагрузки на системы очистки сточных вод, ведущие к постоянному изменению состава стока.

Предлагаемая биосорбционная технология очистки стоков шламом ТЭС позволяет решить данную производственную проблему, так как фиксированные на поверхности носителей микроорганизмы обладают высокой физиологической активностью [122] и незначительной чувствительностью к залповому сбросу и токсичному воздействию компонентов сточных вод [136].

Результаты экспериментальных исследований позволили предложить модифицированную технологическую схему очистки сточных вод (первой линии) завода синтетического каучука им. С.М. Кирова г. Казани, представленную на рис. 30.

Биологическая очистка сточных вод первой линии представлена аэротенками и вторичными отстойниками. Сток после первичного отстойника 4 поступает на стадию биоочистки в периферийный лоток аэротенков-смесителей 5. Подача сточных вод в аэротенки (секции) производится во второй коридор каждой секции, активный ил подается в первый коридор из регенератора 9, где происходит восстановление его метаболической активности.

Во втором и третьих коридорах аэротенка происходит смешивание сточных вод с активным илом, а также поглощение им различных примесей для последующего их окисления. Воздух подается в аэротенк по стальным трубам, распределяется через пористые фильтросные трубы по всему его объёму, перемешивает сточные воды с активным илом и насыщает их кислородом, необходимым для жизнедеятельности микроорганизмов.

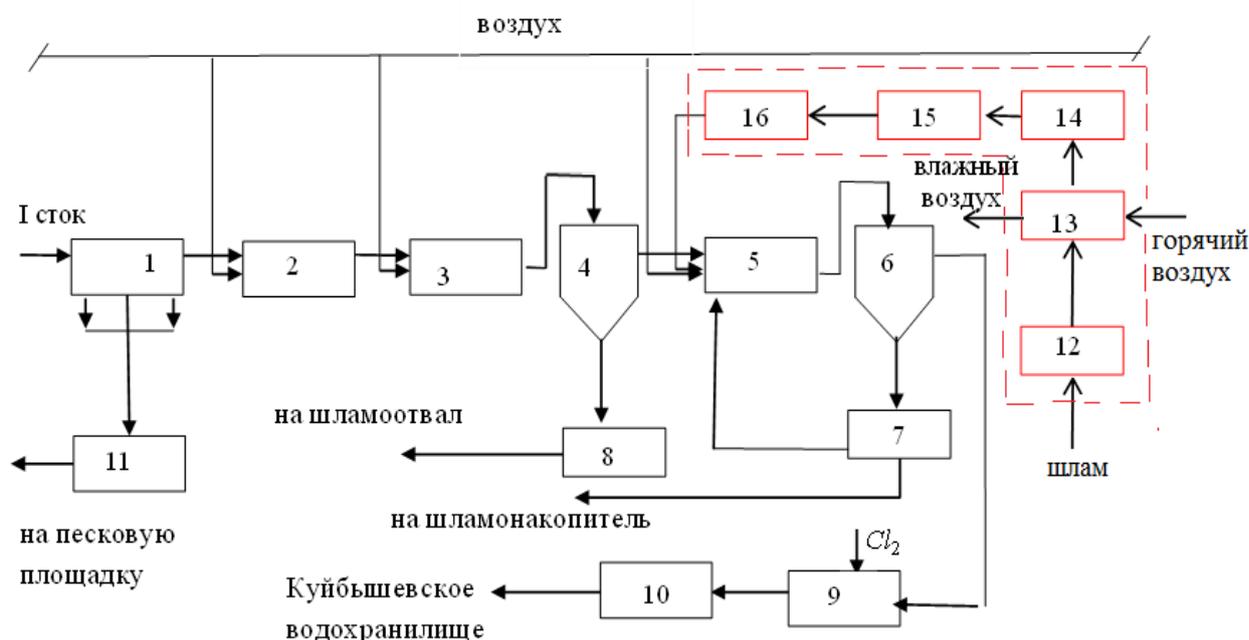


Рис. 30. Модифицированная технологическая схема очистки сточных вод:

- 1 – песколовка; 2 – аэратор-усреднитель; 3 – смеситель; 4 – первичный отстойник;
- 5 – аэротенк-смеситель; 6 – вторичный отстойник; 7 – накопитель шлама и активного ила после вторичного отстойника; 8 – накопитель шлама после первичного отстойника;
- 9 – регенератор активного ила; 10 – резервуар – дезинфектор; 11 – бункер песка;
- 12 – камера очищенных стоков; 13 – бункер хранения сырого карбонатного шлама

Регенерация активного ила, т. е. восстановление его поглощающей и окисляющей способностей, протекающая в регенераторе 9, заключается в доокислении поглощенных в аэротенке примесей. Этот процесс происходит при интенсивной аэрации воздухом, подаваемым также через пористые фильтросные трубы, уложенные в два ряда.

Смесь сточных вод с илом из аэротенка 5 через канал, примыкающий к нему, по подземному трубопроводу поступает во вторичный радиальный отстойник 6 для отделения осадка от биологически очищенных сточных вод.

Осевший во вторичном отстойнике активный ил удаляется илонасосами, представляющими собой систему сосудов, установленных на подвижной форме. Осадок через сосуды поступает в горизонтальную трубу и под действием гидростатического давления удаляется в накопитель шлама и активного ила 7, из которого возвратный ил центробежным насосом, установленным в помещении иловой станции, подается в регенератор 9. Количество циркулирующего активного ила зависит от степени загрязненности сточных вод. После его регенерации активный ил подается в первый коридор аэротенка 5. В случае образования избыточного активного ила, материал перекачивается насосом в двухсекционный шламонакопитель 8, представляющий собой заглубленное в грунте сооружение с ограждением насыпными дамбами. Шламонакопитель 8 имеет прямоугольную форму и состоит из двух равных по площади и объему отсеков, разграниченных разделительной земляной дамбой. При заполнении шламонакопителя 8 осадок направляется на шламоотвал. Сточные воды, осветленные во вторичных отстойниках 6, через периферийные круговые лотки поступают в резервуар-дезинфектор 10 и центробежным насосом откачиваются в камеру очищенных стоков 12, а далее через рассеивающий выпуск поступают в реку Волга.

Произведен расчет аэротенка-смесителя 5. При модернизации существующей схемы очистки сточных вод предприятия необходимо установить дополнительный бункер хранения сырого неосушенного шлама (влажность 60 %) 13. Капитальные затраты на реализацию незначительны, так как внедрение не требует реконструкции существующей технологической схемы. Это подтверждается и близостью географического расположения двух предприятий: Казанской ТЭЦ-1 и завода синтетического каучука им. С. М. Кирова.

Для корректировки дозирования отхода расчет массового расхода добавочного шлама производится по формуле (4.2):

$$D_{\text{Ш}}^{\text{доб}} = (1 - R_i) \cdot D_{\text{Ш}}^{\text{эф}} \cdot q_v, \quad (3.2)$$

где $D_{\text{Ш}}^{\text{доб}}$ – массовый расход добавочного шлама, кг/ч; R_i – степень рециркуляции шлама и активного ила; $D_{\text{Ш}}^{\text{эф}}$ – эффективная доза шлама, равная 600 мг/дм^3 , q_v – расчетный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

В настоящее время в соответствии с регламентом БОС КЗСК после биологической очистки в аэротенках активный ил попадает во вторичные отстойники, где происходит его разделение с очищенными сточными водами. Из вторичных отстойников уплотненный активный ил направляется в регенераторы, где при интенсивной аэрации проводится восстановление его метаболической активности. Регенератор конструктивно совпадает с аэротенком. Время пребывания активного ила в регенераторе значительно выше, чем продолжительность аэрации в аэротенке. После восстановления окислительной способности активного ила осуществляется его возврат в коридор аэротенка, тем самым реализуется технология замкнутого цикла использования микроорганизмов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные источники потоков загрязнённых вод, возникающих на предприятиях энергетического комплекса.
2. Что понимают под понятием «утилизация отходов»?
3. Что включает в себя биосорбционная очистка сточных вод?
4. Что такое биорезистентные и биоразлагаемые примеси сточных вод? Приведите примеры.
5. Что за процесс понимается под регенерацией активного ила?

ГЛАВА 4. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Утилизация отходов является одним из основных направлений в ресурсосберегающих технологиях. Под утилизацией отходов следует понимать комплексную их переработку с целью получения промышленной либо другой продукции. Утилизация тесно связана с рациональным использованием природных ресурсов.

4.1. Возможные пути совместной утилизации шлама и активного ила

Данные о возможности биорегенерации (освобождения адсорбционной емкости) сорбента получены косвенным путем (на основании кинетической кривой снижения показателя ХПК), поэтому рассматривается вопрос о возможности совместной регенерации активного ила и карбонатного шлама. Сущность предлагаемой технологии заключается в совместной регенерации активного ила и шлама ХВО в регенераторах с последующим их возвратом в цикл биосорбционной очистки воды.

Существуют технологии регенерации сорбентов, заключающиеся в аэрации отработанного активного угля в воде. Некоторые виды низкомолекулярных сорбатов способны окисляться при температуре 25–30 °С и атмосферном давлении на 45–65 %.

В процессе аэрации отработанного активного угля можно добавлять микроорганизмы активного ила, т. е. вести «биохимическую» регенерацию. Например, в [22] порошкообразный активированный уголь после биосорбционной очистки стоков длительное время регенерируют воздухом совместно с активным илом в виде осадка. В этом случае восстанавливается до 90 % емкости активного угля.

На основании представленных источников можно сделать предположение о возможности подачи шлама, который также является сорбентом, на регенерацию совместно с активным илом в аппараты, установленные на очистных сооружениях КЗСК. После реализации предлагаемой биосорбционной технологии шлам совместно с активным илом выносится во вторичные отстойники 7. Часть осадка направляется в регенератор 9, реализуется замкнутый цикл оборота осадка на очистных сооружениях с его регенерацией. При этом возникает проблема утилизации избыточного активного ила совместно с карбонатным шламом.

В практике очистки сточных вод одной из важнейших является проблема утилизации и переработки осадков, а именно избыточного активного ила, который представляется потенциально химическим

и бактериологическим опасным веществом. Однако биоценоз активного ила содержит значительное количество биогенных веществ – азота, фосфора, калия. Наряду с органическими веществами и микроэлементами они определяют их удобрительную ценность. Таким образом, осадки сточных вод, выделяемые на очистных станциях, можно использовать как ценное удобрение, значительно повышающее урожайность овощных, зерновых, плодово-ягодных и цветочно-кормовых культур.

С другой стороны, в Республике Татарстан существует проблема подщелачивания кислых почв, которые составляют приблизительно 1400,5 тыс. га. Фазовый состав шлама ХВО представлен в основном карбонатом кальция. Достаточно высокое содержание кальция в отходах водоподготовки позволяет использовать их в качестве минеральных удобрений для известкования кислых почв. Содержание тяжелых металлов и радиоактивных изотопов в шламе ХВО значительно ниже предельно-допустимых концентраций, что не может оказать отрицательного воздействия на окружающую природную среду, в том числе состояние почвенного плодородия. Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена по обменной кислотности (рН солевой вытяжки). При значении рН солевой вытяжки 4,5 и ниже потребность в известковании сильная, 4,6–5 – средняя, 5,1–5,5 – слабая и при рН больше 5,5 – отсутствует. Ориентировочные нормы внесения в почву шлама ХВО и недопала извести можно определить по величине рН солевой вытяжки.

Таким образом, введение полученной смеси шлама и активного ила позволяет одновременно решать проблему подщелачивания и насыщения почв полезными минеральными элементами.

4.2. Обезвоживание отходов биологической очистки сточных вод на центрифугах

Представлен вариант утилизации карбонатного шлама – отхода производства, образующегося в процессе химической водоподготовки на стадии предварительной очистки природной воды. Проведено исследование с последующей разработкой топливных гранул из карбонатного шлама, избыточного активного ила (ИАИ) и связующего.

На станциях биологической очистки сточных вод образуется многотоннажный отход производства – ИАИ. Активный ил представляет собой сложное сообщество микроорганизмов, жизнедеятельность которых

осуществляется за счет окисления органических веществ, фосфор- и азотсодержащих соединений сточных вод промышленных предприятий и коммунального сектора [21]. Объем ежегодно образующегося ИАИ в Российской Федерации составляет 3,5 млрд т. Основная часть (около 90 %) складывается на иловых картах, где за счет естественной конвекции и радиационного теплообмена происходит его сушка. При этом возникают проблемы отчуждения земель, которые в дальнейшем не подлежат восстановлению, а также загрязнения поверхностных вод, появления гнилостного запаха, распространяющегося в округе иловых площадок.

Термическая деструкция является перспективным методом утилизации ИАИ. Однако при этом возникает проблема его обезвоживания, так как ИАИ является труднофилтруемой суспензией. Для повышения влагоотдачи осадка используются различные материалы, в том числе и отходы производства.

Таким образом, исследована возможность использования карбонатного шлама водоподготовки совместно с ИАИ и связующим с последующим приготовлением топливных гранул для выработки тепловой энергии.

После очистки сточных вод встает вопрос об утилизации смеси ИАИ и карбонатного шлама.

В экспериментальных исследованиях использовался ИАИ биологической очистной станции ОАО «Казанский завод синтетического каучука» с следующими характеристиками: влажность исходного ИАИ составила 98 %, после стадии уплотнения (отстаивания под действием гравитационных сил) – 95 %, плотность – $1,13 \text{ г/см}^3$, зольность – 11 %. В качестве минеральной добавки в экспериментах использовали необработанный и прокаленный карбонатный шлам. Прокаливание карбонатного шлама осуществлялось в течение 1 ч при температуре $400 \text{ }^\circ\text{C}$ в муфельной печи.

Лабораторные исследования проводились на центрифуге СМ-6М, в которой разделение дисперсной и жидкой фаз происходит осаждением взвешенных частиц под действием центробежных сил. Центрифугированию подвергались ИАИ, смесь, состоящая из ИАИ и необработанного шлама, и смесь, в состав которой входили ИАИ и прокаленный карбонатный шлам в различных пропорциях. Предварительно ИАИ интенсивно перемешивался с необработанным и прокаленным карбонатным шламом в различных соотношениях в течение 10 мин. Затем смешанный осадок помещался в цилиндры центрифуги объемом 10 см^3 , и проводилось центрифугирование при различных условиях. Время центрифугирования составляло 1, 2 и 3 мин. Скорость вращения центрифуги составляла от 500 до 1500 об/мин.

Для расчета определения влагоотдачи осадка использовался индекс центрифугирования, который показывает степень обезвоживания осадков в поле центробежных сил. Удовлетворительным значением обезвоживания осадков считается индекс центрифугирования $U \leq 6-8$. Результаты исследования представлены на рис. 31–33.

Как видно из рис. 31 удовлетворительное значение индекса центрифугирования ($U = 7,75$) при вращении ротора со скоростью 500 об/мин достигается при введении $1,2 \text{ г/дм}^3$ прокаленного карбонатного шлама при обезвоживании в течение 3 мин.

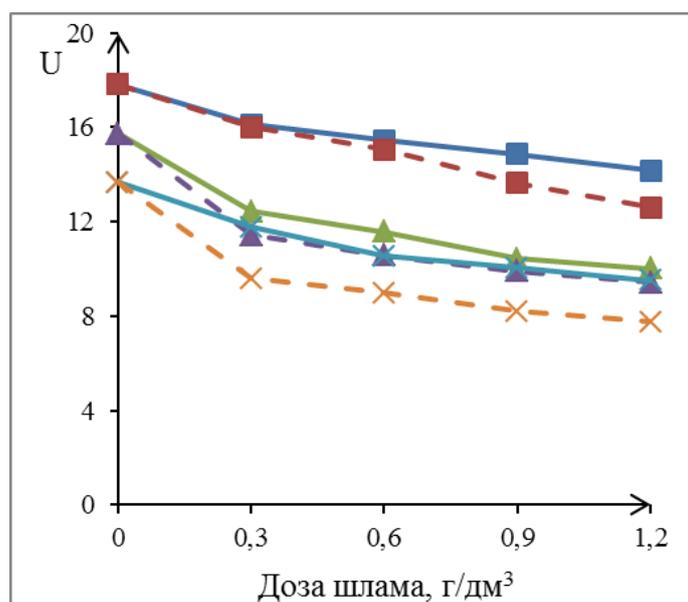


Рис. 31. Зависимость значения индекса центрифугирования от вводимой дозы шлама (500 об/мин): время центрифугирования: ■ – 1 мин, ▲ – 2 мин, × – 3 мин; "—" – карбонатный шлам; "- -" – прокаленный карбонатный шлам

Как видно из рис. 32, верхний порог удовлетворительного значения индекса центрифугирования ($U = 7,95$) достигается при введении необработанного карбонатного шлама минимальной дозой $0,6 \text{ г/дм}^3$ при центрифугировании осадка со скоростью 1000 об/с в течение 1 мин и при введении $0,3 \text{ г/дм}^3$ прокаленного карбонатного шлама в аналогичных условиях, в то время как центрифугирование только ИАИ при тех же условиях имеет гораздо больший индекс ($U = 10,05$) и является неэффективным.

Как видно из рис. 33, индекс центрифугирования имеет меньшие значения при введении необработанного и прокаленного шлама. Установлено, что с увеличением дозы карбонатного шлама снижается значение индекса центрифугирования.

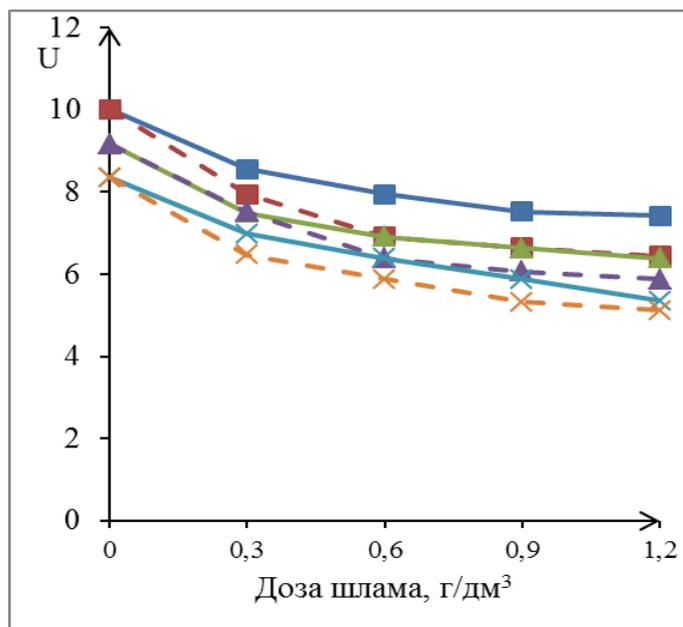


Рис. 32. Зависимость значения индекса центрифугирования от вводимой дозы шлама (1000 об/мин): время центрифугирования: ■ – мин, ▲ – 2 мин, × – 3 мин; "—" – карбонатный шлам; "- -" – прокаленный карбонатный шлам

Удовлетворительное значение индекса центрифугирования ($U = 7,91$) при обработке чистого ИАИ без добавления карбонатного шлама достигается при 1500 об/с в течение 3 мин, что является наиболее энергозатратным процессом.

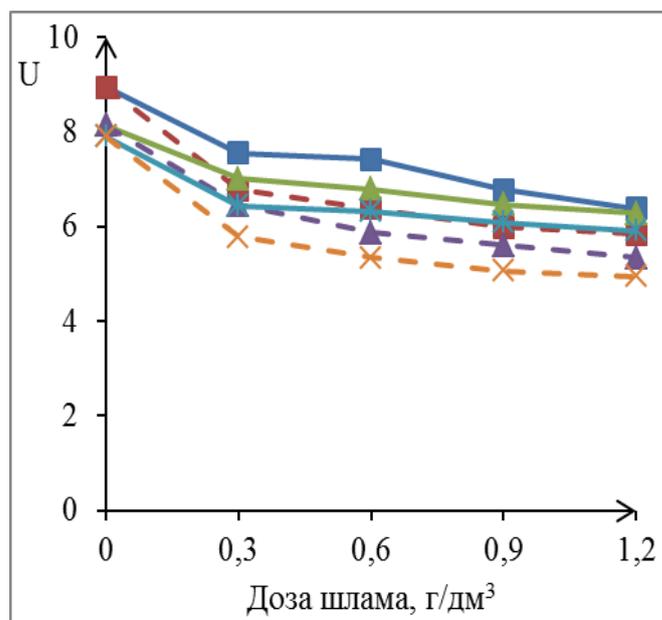


Рис. 33. Зависимость значения индекса центрифугирования от вводимой дозы шлама (1500 об/мин): время центрифугирования: ■ – мин, ▲ – 2 мин, × – 3 мин; "—" – карбонатный шлам; "- -" – прокаленный карбонатный шлам

Таким образом, при одинаковых условиях проведения эксперимента было получено, что за счет добавления карбонатного шлама происходит повышение влагоотдачи избыточного активного ила и снижаются энергетические затраты на проведение процесса. Влажность ИАИ после центрифугирования составляет 84 %, в то время как влажность смешанного осадка (ИАИ и необработанного карбонатного шлама) колеблется в пределах 71–74 % (в зависимости от дозы вводимого шлама и условий проведения эксперимента), влажность ИАИ при введении прокаленного шлама – до 69 %.

Карбонатный шлам может выступать и в качестве минерального коагулянта. Дозирование карбонатного шлама позволяет нарушать агрегативную устойчивость суспензии ИАИ за счет предотвращения агломерации активного ила путем разрыва гидратной оболочки, обволакивающей частицы ила. При центрифугировании активного ила совместно с карбонатным шламом происходит разрыв прочных структурных связей, позволяющий производить отделение коллоидно-связанной влаги. Таким образом, происходит перераспределение связанной влаги ИАИ и увеличивается содержание свободной воды в суспензии. Значительное содержание Ca^{2+} в шламе формирует жесткую механическую структуру осадка, способствует электростатическому взаимодействию с АИ, который в интервале $4 < \text{pH} < 9$ рассматривается как отрицательно заряженный [5].

4.3. Технология сжигания отходов биологической очистки сточных вод

После центрифугирования обезвоженная смесь ИАИ и карбонатного шлама формовалась вручную в гранулы диаметром 3–5 мм с использованием связующего путем окатывания. Гранулы получали при следующих массовых соотношениях: ИАИ – 70 %, карбонатный шлам – 8 %, связующее – 22 % масс.

В качестве связующего применялся крахмал и лигносульфонат технический (ЛСТ). Лигносульфонат технический – сыпучий порошкообразный материал светло-коричневого цвета влажностью не более 8 % масс., который является побочным продуктом на целлюлозно-бумажных предприятиях, получаемым из щелоков бисульфитной варки целлюлозы.

Далее после окатывания производили сушку при 105 °С в течение 30 мин.

В табл. 5 представлены общетехнические характеристики полученных гранул при использовании крахмала и ЛСТ в качестве связующего. К ним относятся влажность, насыпная плотность, зольность, прочность на истирание. Калориметрически проведено определение теплоты сгорания гранул (С 2000 basic V. 1).

Общетехнические характеристики полученных гранул

Образцы	с крахмалом (22 % масс.)	с ЛСТ (22 % масс.)
Влажность, %	4,7±0,2	3,1±0,1
Насыпная плотность, кг/м ³	828	788
Зольность, %	29,2	27,9
Цвет золы	светло-серый	светло-коричневый
Прочность на истирание, %	0,5	0,1
Теплота сгорания по калориметрической бомбе, МДж/кг	9672,6	10345,5

Таким образом, при сравнении общетехнических характеристик гранул с использованием крахмала и ЛСТ, а также их теплоты сгорания, можно сделать вывод, что более эффективным является применение гранул с ЛСТ в качестве связующего.

Проведен элементный анализ данного образца на содержание углерода, водорода, азота и серы (CHNS-анализ) на анализаторе EA 3000 EuroVector, по результатам которого получено, что топливные гранулы имеет следующий состав: $C^P = 30,1 \%$; $H^P = 2,9 \%$; $S^P = 1,1 \%$; $N^P = 1,24 \%$.

На основании элементного состава по формуле Менделеева можно рассчитать низшую теплоту сгорания топлива:

$$Q_p^H = 339,3C^P + 1256H^P - 109(O^P - S^P) - 25,2(9H^P + W^P).$$

Низшая теплота сгорания топлива с использованием ЛСТ в качестве связующего составит 9582,8 кДж/кг.

По результатам исследований разработана технологическая схема получения и сжигания топливных гранул на основе ИАИ (рис. 34).

Из бункеров хранения ИАИ 1 и шлама 9 подается смесь в соотношении 6:1 (по массе) и проводится их перемешивание в бункере 2. Далее смесь подвергается обработке в центрифуге 3. Затем обезвоженная смесь поступает на ленточную сушилку для осушки 4 и окатывается в гранулы 5 при подаче связующего из бункера хранения 10. Готовые гранулы поступают в бункер хранения гранул 6, откуда направляются в печь с псевдоожиженным слоем 7 для сжигания. При этом может быть получена тепловая или электрическая энергия в зависимости от типа оборудования. Дымовые газы очищаются в золоуловителе 8.

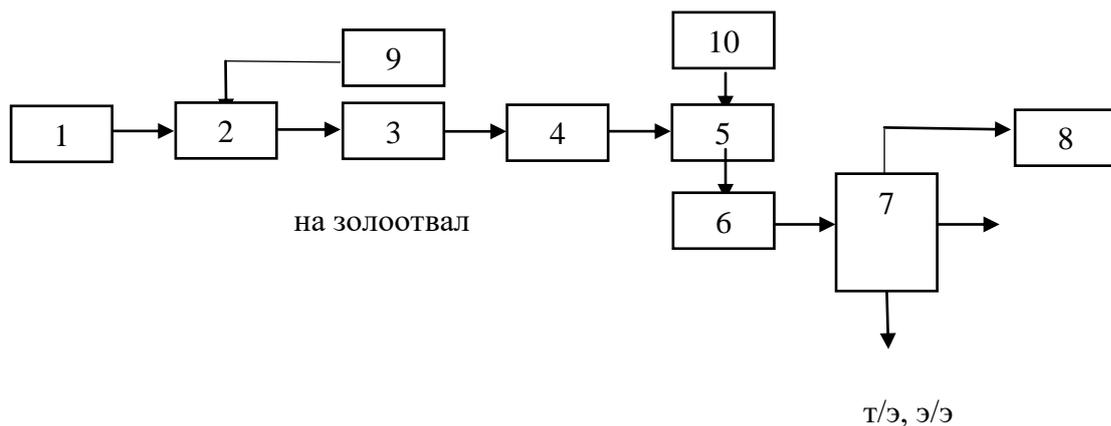


Рис. 34. Технологическая схема получения и сжигания ИАИ:
 1 – бункер хранения активного ила; 2 – бункер перемешивания;
 3 – центрифугирование; 4 – ленточная сушилка; 5 – окатывание;
 6 – бункер хранения готовых гранул; 7 – печь с псевдоожиженным слоем;
 8 – золоуловитель; 9 – бункер хранения шлама; 10 – бункер хранения связующего

Таким образом, полученные гранулы можно использовать в качестве вторичных энергетических ресурсов для технологических нужд, производства электроэнергии и в системах отопления, горячего водоснабжения в промышленности.

Применение гранул на основе активного ила и карбонатного шлама в качестве топливного ресурса позволяет снижать экологическую нагрузку на окружающую среду за счет утилизации отходов производства, реализовать переход от ископаемого топлива, которое является невозобновляемым, к использованию вторичных энергетических ресурсов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные физико-химические показатели качества воды, применяемой на объектах теплоэнергетики.
2. На какие виды подразделяют общую жесткость воды?
3. Напишите уравнение электронейтральности раствора.
4. Какие растворенные газы определяются в воде, используемой для энергетических целей?
5. Охарактеризуйте показатели БПК₅ и ХПК. В чем их отличие?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день крайне актуальна проблема, связанная с загрязнением окружающей среды ввиду повсеместного наличия и образования сточных вод. Данная проблема не ограничивается большими объемами хозяйственно-бытовых сточных вод, которые неизбежны. Значительно большую опасность представляют сточные воды промышленных предприятий.

Очистка сточных вод предприятий требует внедрения новых технологий, способных свести к минимуму негативное влияние на окружающую среду. В этой связи на сегодняшний день успешно разрабатывается, выпускается и повсеместно внедряется современное высокоэффективное водоочистное оборудование.

Процесс полной очистки сточных вод является сложной взаимосвязанной системой, включающей в себя следующие этапы:

- механическая очистка воды;
- биологическая очистка сточных вод в искусственных условиях, включающая в себя биофильтры, аэротенки различных модификаций с подачей воздуха, а также анаэробные реакторы. Очистка сточных вод допускает применение лишь одного септика или аэротенка. Кроме того, на этом этапе присутствует вторичный отстойник, предназначенный для отделения избыточного активного ила от очищенных вод после аэротенка;
- доочистка воды, при которой применяются физико-химические способы очистки сточных вод, на этом этапе концентрация примесей снижается до минимальных значений для дальнейшего сброса этих вод в водоем;
- обеззараживание сточных вод.

В учебном пособии были приведены характеристики сточных вод предприятий энергетического, химического и нефтехимического комплекса.

Изложены основные темы, касающиеся вопросов биологической очистки сточных вод предприятий нефтехимической и энергетической отрасли промышленности. Авторами приведена подробная характеристика активного ила. Представлены основные аппараты и общая характеристика сооружений биологической очистки сточных вод. Значительное внимание уделяется как аппаратам аэробной очистки, так и анаэробным методам очистки и их конструктивному оформлению.

Подробно описана специфика работы биодисковых фильтров, биофильтров с загрузкой из пеностекла или пластмассы, биореакторов с биобарабанами и т. д. Из сооружений анаэробной очистки представлено описание метантенков, двухъярусных отстойников, септиков.

Утилизация осадков сточных вод создает неограниченные возможности для превращения отходов в полезное сырье, из которого можно получать ценные продукты для народного хозяйства. В настоящее время в производственных условиях проверено использование осадков как удобрения и активного ила как кормового продукта. Осадки бытовых сточных вод представляют собой ценное удобрение, применяемое для повышения урожайности овощных, зерновых и других культур.

Особенное внимание уделяется методу биосорбционной очистки сточных вод, в котором совмещены преимущества их биохимической очистки активным илом и сорбционной очистки отходом производства шламом химической водоподготовки. Представлено научное обоснование для использования данного метода с целью снижения основных загрязняющих примесей, присутствующих в сточных водах предприятий химической промышленности.

Показана комплексная технология утилизации отработанного активного ила и шлама водоподготовки. Предложен метод обезвоживания избыточного активного ила на центрифугах с дальнейшим производством топливных гранул, предназначенных для сжигания в качестве вторичных энергетических ресурсов для технологических нужд, производства электроэнергии и в системах отопления, горячего водоснабжения в промышленности.

Комплексы сооружений по биологической очистке сточных вод и обработке осадков в системах водоотведения являются завершающей стадией перед сбросом очищенных сточных вод в водоемы. Поэтому от обеспечения надежной и бесперебойной работы этих комплексов зависит техническое, санитарное и экологическое состояние водоемов.

Таким образом, станции очистки сточных вод промышленных предприятий позволяют очищать сточные воды, состоящие из отработанных растворов, производственных и промывных вод, жидкостей охлаждающих систем, химводоочистки от мытья оборудования и производственных помещений и сбрасывать их в водоем или городскую канализацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ИТС 8-2015. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. – Москва : Бюро НТД, 2015. – 129 с.
2. Кузнецов, А. Е. Прикладная экобиотехнология. Т. 2 / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников, М. Энгельхарт, Т. Вайссер, М. В. Чеботаева. – Москва : БИНОМ, 2012. – 485 с.
3. Волова, Т. Г. Биотехнология. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. – 252 с.
4. Степанов, С. В. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / С. В. Степанов, А. К. Стрелков, В. Н. Швецов, К. М. Морозова. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2017. – 204 с.
5. Большаков, Н. Ю. Биологические методы очистки сточных вод от органических веществ и биогенных элементов / Н. Ю. Большаков // Экология производства. – 2013. – № 4. – С. 64–69.
6. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Москва : ГУП ЦПП, 1996. – 265 с.
7. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков : учебное пособие / Д. А. Кривошеин, П. П. Кукин, В. Л. Лапин и др. – Москва : Высшая школа, 2003. – 344 с.
8. Семенова, И. В. Промышленная экология : учебное пособие. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009. – 528 с.
9. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1 / А. С. Тимонин. – Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
10. Хенце, М. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван; пер. с англ. – Москва : Мир, 2006. – 480 с.
11. Кузнецов, А. Е. Научные основы экобиотехнологии : учебное пособие / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова. – Москва : Мир, 2006. – 504 с.
12. Акимова, Т. А. Основы экоразвития : учебное пособие / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин; под ред. В. И. Видяпина. – Москва : Издательство Российской экономической академии, 1994. – 312 с.
13. Родионов, А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – Москва : Химия, КолосС, 2005. – 392 с.
14. Ксенофонтов, Б. С. Биологическая очистка сточных вод : учебное пособие / Б. С. Ксенофонтов. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 254 с.

15. Кичигин, В. И. Водоотводящие системы промышленных предприятий : учебное пособие/ В. И. Кичигин. – Москва : Издательство АСВ, 2011. – 656 с.
16. Пугач, Л. И. Энергетика и экология : учебник / Л. И. Пугач. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2003. – 502 с.
17. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 367 с.
18. Патракова, Г. Р. Промышленная экология объектов энергетики и промышленная безопасность : учебное пособие / Г. Р. Патракова. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт – ФГБОУ ВО «Казанский научно-исследовательский технологический университет», 2017. – 98 с.
19. Экология энергетики : учебное пособие / под общ. ред. В. Я. Путилова. – Москва : Издательство Московского энергетического института, 2003. – 716 с.
20. Пугачев, Е. А. Процессы и аппараты обработки осадков сточных вод / Е. А. Пугачев – Москва : Издательство АСВ, 2015. – 208 с.
21. Кичигин, В. И. Моделирование процессов очистки воды : учебное пособие для вузов / В. И. Кичигин. – Москва : Издательство АСВ, 2003. – 229 с.
22. Инженерная экология : учебник / под ред. проф. В. Т. Медведева. – Москва : Гардарики, 2002. – 687 с.
23. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Сущность процесса биологической очистки сточных вод	6
1.1. Общие понятия и определения процесса биохимического окисления	8
1.2. Характеристика активного ила	9
1.3. Общая характеристика сооружений и аппаратов биологической очистки	12
1.3.1. Очистка сточных вод в аэротенках	13
1.3.2. Очистка сточных вод в биофильтрах	14
1.3.3. Прочие сооружения и аппараты аэробной биологической очистки	17
1.3.4 Анаэробная очистка сточных вод	20
Глава 2. Обработка и утилизация осадков сточных вод	28
2.1. Уплотнение активного ила	28
2.2. Сепарация осадков сточных вод	31
2.3. Аэробная стабилизация осадков	33
2.4. Установки с вакуум-фильтром	35
2.5. Обезвоживающие установки с центрифугами	39
2.6. Установки тепловой обработки осадков	42
2.7. Установки термической осушки осадков	42
2.8. Вакуум-сушилки	43
2.9. Установки с печами кипящего слоя	45
Глава 3. Очистка сточных вод с использованием отходов производства	48
3.1. Характеристика сточных вод различных отраслей промышленности ...	48
3.2. Утилизация твердых промышленных отходов	51
3.3. Применение в процессе биосорбционной очистки сточных вод отходов производства	53
3.4. Экспериментальное исследование биосорбционной технологии карбонатным шламом на Казанском заводе синтетического каучука	54
3.5. Гидрохимические и технологические показатели качества освет- ленной воды вторичных отстойников после биосорбционной очистки	62
3.6. Кинетика биосорбционной очистки сточных вод шламом хими- ческой водоочистки	66
3.7. Модернизация технологической схемы очистки сточных вод первой линии Казанского завода синтетического каучука	72

Глава 4. Утилизация отходов биологической очистки сточных вод	76
4.1. Возможные пути совместной утилизации шлама и активного ила ...	76
4.2. Обезвоживание отходов биологической очистки сточных вод на центрифугах	77
4.3. Технология сжигания отходов биологической очистки сточных вод	81
Заключение	84
Библиографический список	86

Учебное издание

Николаева Лариса Андреевна,
Исхакова Регина Яновна

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД
ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
И ЭНЕРГЕТИКИ**

Учебное пособие

Кафедра технологий в энергетике и нефтегазопереработке КГЭУ

Редактор издательского отдела *М. С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Т. И. Лунченковой*

Подписано в печать 23.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 5,23. Уч.-изд. л. 4,00. Заказ № 388/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51