



В.Н. Ануфриев,

*заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ,
кандидат технических наук*

Технологии обработки осадков сточных вод



**Основные
темы**

Виды отходов, получаемых при очистке сточных вод, и источники их образования

Способы обработки отходов, получаемых при механической очистке сточных вод на решетках и песколовках

Обработка осадка первичных отстойников и избыточного активного ила: способы и технические решения

В Республике Беларусь эксплуатируется более 200 сооружений биологической очистки городских сточных вод различной производительности, а их суммарная мощность в ближайшей перспективе будет только возрастать в связи с увеличением охвата населения централизованными системами канализации, реконструкцией простейших очистных сооружений (поля фильтрации, биологические пруды), переводом на биологическую очистку в искусственно созданных условиях.

Одной из наиболее сложных проблем, связанных с функционированием очистных сооружений, является управление образующимися осадками, которые являются одним из видов крупнотоннажных отходов. Ежегодно в Республике Беларусь образуется более 50 тыс. тонн осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество, т.е. без учета влажности. Соответственно, масса и объемы образующегося влажного осадка намного выше и в среднем составляют около 0,7 млн тонн в год. В ближайшем будущем прогнозируется рост объемов таких отходов вследствие строительства новых очистных сооружений, в т.ч. при выводе из эксплуатации полей фильтрации, а также при увеличении производительности и повышении степени очистки сточных вод на существующих сооружениях.



В статье рассмотрены основные способы обработки осадков сточных вод с целью уменьшения их объема при хранении и возможности по их использованию в различных отраслях.

ВИДЫ ОТХОДОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД, И ИСТОЧНИКИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Источниками образования отходов, получаемых при очистке сточных вод, являются сооружения механической и биологической очистки (см. рис. 1).

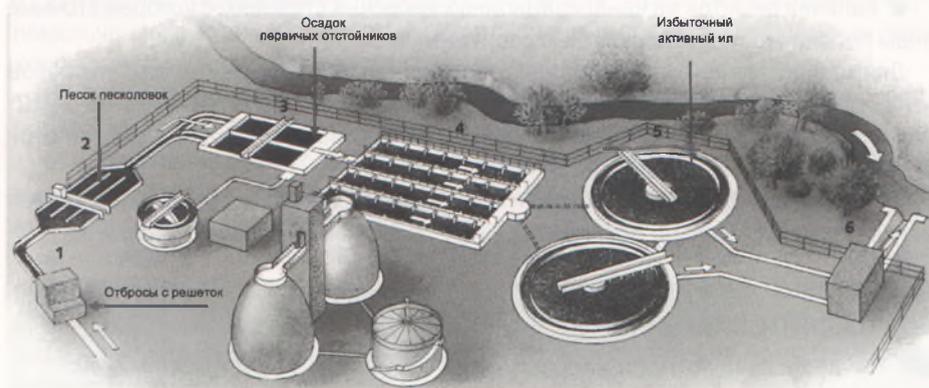
При функционировании сооружений механической очистки на решетках, ситах и сетках задерживаются и удаляются отбросы различного состава, из песколовок удаляют примеси, состоящие преимущественно из песка, в первичных отстойниках образуется осадок, состоящий из органических примесей, осаждаемых из сточных вод.

В ряде случаев как отдельный вид отходов выделяют всплывающие вещества из песколовок и первичных отстойников, которые по большей части представляют собой жировые примеси.



ПРИМЕЧАНИЕ

При обработке производственных сточных вод на сооружениях механической очистки могут выделяться и другие виды примесей, состав которых определяется видом технологических процессов, где такие сточные воды образуются.



1 — решетки; 2 — песколовки; 3 — первичные отстойники; 4 — сооружения биологической очистки; 5 — вторичные отстойники; 6 — сооружения для обеззараживания

Рис. 1. Схема источников образования отходов на очистных сооружениях городских сточных вод

Основным видом отходов **на сооружениях биологической очистки является избыточный активный ил**, представляющий собой прирост биомассы микроорганизмов в процессе биохимического окисления органических загрязняющих веществ.



СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД НА РЕШЕТКАХ И ПЕСКОЛОВКАХ

Обработка отходов, образующихся на решетках

Отбросы с решеток представляют собой крупноразмерные примеси, которые задерживаются при процеживании сточных вод через решетки, сетки, сита и подобные сооружения (см. рис. 2).



Рис. 2. Решетки для задержания крупноразмерных примесей

Количество отбросов, задерживаемых на решетках, зависит:

- от вида сточных вод;
- ширины прозоров решетки;
- наличия решеток на канализационных насосных станциях, с которых сточные воды перекачиваются на очистные сооружения.

Для хозяйственно-бытовых сточных вод количество задерживаемых отбросов на 1 человека в соответствии с ТКП 45-4.01-202-2010¹ и ТКП 45-4.01-56-2012² для решеток с шириной прозоров 16–20 мм составляет 8 л/год, для решеток с шириной прозоров 1 мм — 34 л/год.

По составу отбросы с решеток близки к твердым коммунальным отходам и содержат волокнистые включения, фрагменты бумаги, пластика, пищевые отходы и т.д.



ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ

Согласно Классификатору отходов³ отбросы с решеток относятся к 3-му классу опасности.

¹ ТКП 45-4.01-202-2010 (022500) «Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования» утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 07.06.2010 № 204.

² ТКП 45-4.01-56-2012 (02250) «Системы наружной канализации. Сети и сооружения на них. Строительные нормы проектирования» утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 04.07.2012 № 208.

³ Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь, утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 08.11.2007 № 85.



Обработка таких отходов заключается в их удалении из решеток, временном хранении на территории очистных сооружений с последующим удалением на захоронение.

Для снижения объема отходов и влажности перед выгрузкой в контейнеры производится их отжим на прессах, а также отмывка (см. рис. 3).



Рис. 3. Пресс для отжима отходов

Еще одно **направление в обработке отходов**, поступающих на очистные сооружения, **основано на их измельчении** с использованием различного типа дробилок и измельчителей. При использовании дробилок измельчение отходов может производиться двумя путями:

- 1) измельчение отходов в потоке сточных вод до установки решеток;
- 2) отходы, задержанные на решетках, сначала подаются на устройства для измельчения, а затем сбрасываются в поток сточных вод после решеток или подаются на сооружения для обработки осадка.

Выбор технологии по обработке отходов осуществляется с учетом различного рода технических требований и затрат на организацию процесса:

- измельчение отходов характеризуется существенным энергопотреблением, в связи с чем непосредственное удаление задержанных на решетках отходов считается более экономичным способом;
- применение дробилок позволяет направить измельченные отходы на переработку вместе с осадком первичных отстойников и избыточным активным илом и, таким образом, применять технологические приемы с высокой степенью механизации и автоматизации и исключить отдельный цикл, связанный с размещением и транспортом отходов.

Обработка отходов, образующихся в песколовках

Песок из песколовки представляет собой осадок, состоящий преимущественно из минеральных примесей с включениями органических веществ. Песколовки рассчитываются на задержание песка крупностью более 0,25 мм, что обеспечивается осаждением примесей при скорости потока сточных вод в песколовке 0,15–0,30 м/с.



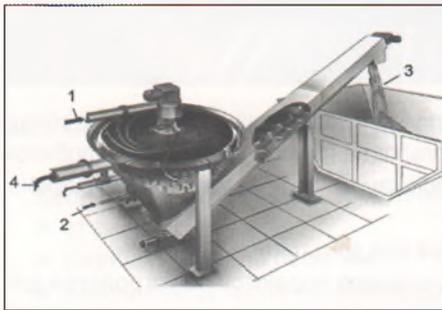
Содержание органических веществ в осадке аэрируемых песколовок ниже, чем в других типах песколовок, из-за отмывки примесей при винтовом движении потока сточных вод, который создается за счет аэрации.

Обезвоживание задержанного песка производится после его удаления из песколовок на песковых площадках или в других специальных сооружениях.

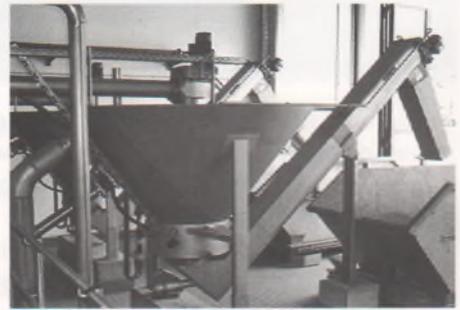
Аа СЛОВАРЬ

Песковые площадки — сооружения для обезвоживания песка из песколовок в виде земляных карт с ограждающими валиками высотой 1–2 м, оборудованные водосбросами для отвода отстоявшейся воды.

После обезвоживания песок из карт периодически удаляется. Учитывая, что песок, выгружаемый из песколовок, представляет собой смесь, включающую органические примеси, то для очистки песка могут использоваться специальные устройства для его отмывки, классификации, обезвоживания (см. рис. 4). После обработки **песок может использоваться как материал для различных земляных работ.**



а) схема устройства



б) внешний вид действующего устройства

1 — подача песковой пульпы на отмывку; 2 — подача отмывочной воды; 3 — отведение отмытого песка; 4 — отведение отмывочной воды

Рис. 4. Устройство для отмывки и классификации песка

ОБРАБОТКА ОСАДКА ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ И ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА: СПОСОБЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Отходы, удаляемые с решеток и песколовок, составляют относительно небольшую часть от всего количества осадка сточных вод, основная масса которого образуется в первичных и вторичных отстойниках. Основное внимание направлено на решение проблем, связанных с обработкой и конечным использованием осадка и избыточного активного ила (далее — осадок сточных вод).

Стратегия обработки и конечного использования осадка сточных вод на конкретных очистных сооружениях формируется в зависимости:

- от мощности очистных сооружений и их места размещения;
- доступности транспортной инфраструктуры;
- применяемой технологии очистки и состава сточных вод;



- законодательно-нормативных ограничений в отношении конечного использования осадка;
- доступности реагентов (коагулянтов, флокулянтов);
- возможности передачи осадка другим предприятиям и т.п.

Основные направления обработки осадков сточных вод

Максимальное уменьшение объемов осадка за счет уменьшения влажности и стабилизация содержащихся в нем органических веществ с последующим складированием или захоронением

Использование органического вещества осадков для получения новых товарных продуктов и энергии

Ликвидация осадка сточных вод с получением энергии и относительно небольших объемов конечных отходов

Для реализации такой стратегии управления осадком очистных сооружений используются определенные **способы его обработки**: уплотнение, стабилизация, обеззараживание, кондиционирование, обезвоживание, сушка, термическое разложение органических веществ осадка, сжигание и т.д. Указанные способы обработки применяются в различных комбинациях с учетом цели обработки и объемов обрабатываемого осадка.

УПЛОТНЕНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

Уплотнение осадка предназначено для предварительного снижения его влажности перед стабилизацией или обезвоживанием. Влажность осадка первичных отстойников сточных вод составляет в среднем 96,5–98,0 %, влажность избыточного активного ила — 99,2–99,6 %. Если на обработку подается смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, то влажность этой смеси характеризуется средними значениями в диапазоне 96,5–99,6 %.



ПРИМЕЧАНИЕ

Снижение влажности осадка при уплотнении обеспечивает снижение его объема, что, в свою очередь, **позволяет уменьшить объемы технологических емкостей** на последующих ступенях обработки по сравнению с сооружениями, где предварительное уплотнение не производится.

Для снижения влажности осадка применяются гравитационные и динамические (механические) илоуплотнители⁴.

⁴ СТБ 17.06.02-03-2015 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод» утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 25.05.2015 № 29.



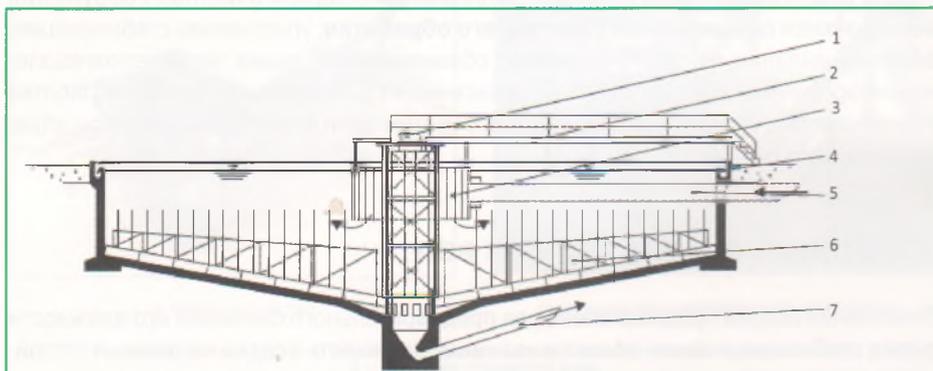
Гравитационное уплотнение

На гравитационных илоуплотнителях снижение влажности избыточного ила и осадка производится путем использования процесса осаждения при относительно незначительных затратах энергии. Конструктивное исполнение илоуплотнителей аналогично вертикальным и радиальным отстойникам, которые представляют собой резервуары круглой формы с диаметром 8–20 м.

Радиальные илоуплотнители могут оснащаться специальными стержневыми мешалками, которые представляют собой решетчатые конструкции, перемешивающие осадок при вращении илоскреба (см. рис. 5). **Преимущества** такого перемешивания заключаются в следующем:

- происходит укрупнение частиц осадка, что интенсифицирует процесс их осаждения;
- образуются вертикальные каналы в осадке, по которым выделяющаяся иловая вода поднимается к верхним слоям в илоуплотнителе, что ускоряет отделение иловой воды от осадка.

Продолжительность гравитационного уплотнения составляет 10–16 ч в вертикальном илоуплотнителе и 5–15 ч — в радиальном. При этом **влажность осадка** в вертикальном илоуплотнителе достигает 98 %, в радиальном — 97,0–97,3 %.



1 — привод фермы; 2 — мостик; 3 — впускная труба для направления исходного осадка в илоуплотнитель; 4 — сборники иловой воды; 5 — трубопровод подачи осадка для уплотнения; 6 — стержневая мешалка со скребками; 7 — трубопровод для отвода уплотненного осадка

Рис. 5. Уплотнитель со стержневой мешалкой

Для интенсификации процесса уплотнения избыточного активного ила или его смеси с осадком могут применяться флокулянты. Их использование позволяет достичь большего снижения влажности обрабатываемого осадка с 97 до 92 %.

Динамическое уплотнение

При применении динамических илоуплотнителей обработка избыточного ила и осадка производится путем использования процессов флотации, процеживания, центрифугирования. Обработка с использованием динамических илоуплотнителей обычно **применяется** не только **для уплотнения избыточного ила**, но и **для сгущения осадка** первичных отстойников или смеси осадка с избыточным илом.



Вертикальный илоуплотнитель.

При флотационном сгущении активного ила, как правило, применяется метод напорной флотации при непосредственном насыщении воздухом активного ила или с насыщением рециркулирующей части расхода осветленной воды после вторичных отстойников. В отличие от гравитационного уплотнения **продолжительность** обработки снижается до 3–4 ч с получением **влажности** уплотненного активного ила в пределах 94,5–96,5 %.

В последнее время также широко применяется **уплотнение осадка с использованием различного механического оборудования**: барабанных, дисковых, шнековых, ленточных уплотнителей, центрифуг.

При механическом уплотнении требуется использование флокулянтов, и эксплуатация механических илоуплотнителей сопряжена с большими затратами энергии, особенно при применении центрифуг. Вместе с тем такая обработка значительно сокращает продолжительность процесса уплотнения и позволяет достичь влажности уплотненного осадка с 97 до 93 %. В большинстве случаев механическое уплотнение применяется на крупных очистных сооружениях с анаэробным сбраживанием осадка. Это позволяет загружать осадок с более высоким содержанием сухого вещества, что сокращает расход энергии при нагреве осадка при подаче в метантенк.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

Стабилизация осадка сточных вод достигается путем разложения органических примесей до более простых соединений или получения продуктов, имеющих более длительный период деструкции в окружающей среде.

Стабилизация осадка может проводиться с использованием биологических, физико-химических методов, а также их комбинацией.



Выбор метода стабилизации определяется рядом условий, в т.ч. зависит от вида осадков, их количества, возможностей и условий дальнейшего их использования или размещения.

В настоящее время большее распространение получили **биологические методы стабилизации** в аэробных и анаэробных условиях.

Аэробная стабилизация является более простой в организации процесса в сравнении с альтернативными методами, однако характеризуется значительным энергопотреблением и отсутствием выработки биогаза. Стабилизация осадка в анаэробных условиях — процесс более сложный, требующий применения ряда специальных устройств и оборудования.

Процесс стабилизации в аэробных условиях

При использовании биологических процессов для стабилизации осадка в аэробных условиях применяются специальные сооружения — аэробные стабилизаторы. Это открытые емкости, оснащенные системами аэрации. В аэробных стабилизаторах неуплотненный либо уплотненный в течение не более 5 ч активный ил или его смесь с сырым осадком выдерживается в течение 2–12 суток в условиях интенсивной аэрации.



ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ

Аэробная стабилизация также может производиться за счет увеличения продолжительности аэробной биологической очистки сточных вод с активным илом с достижением его возраста до 25 суток и более. В таком случае отдельные сооружения для стабилизации осадка не устанавливаются.

Процесс стабилизации в анаэробных условиях: сооружения, режимы, особенности

Принцип анаэробной обработки осадка предполагает использование процессов метанового брожения, которые осуществляются **в специальных сооружениях — метантенках**. Выделяющийся при обработке газ с большим содержанием метана сжигается для получения тепла либо используется как топливо в двигателях внутреннего сгорания для привода электрогенераторов. Получение электроэнергии при обработке осадка сточных вод давно стало обычной практикой для ряда стран, а метантенки являются неотъемлемым элементом канализационных очистных сооружений.

Что представляют собой метантенки?

Метантенки — надземные, реже подземные, железобетонные или стальные резервуары с термоизоляцией для поддержания в них постоянной температуры. В полости метантенка размещаются устройства для перемешивания смеси и ее нагрева.



Сброженный осадок удаляется из метантенка путем откачки насосами либо само-теком по телескопическим трубам. На эффективность перемешивания осадка и газоотделения большое влияние оказывает форма реакторов. Наибольшее распространение получили цилиндрические метантенки с плоским или конусным дном и крышкой (см. рис. 6), а также сооружения яйцевидной формы.



Рис. 6. Метантенки цилиндрической формы

Какой режим сбраживания выбрать в анаэробных условиях?

Анаэробный процесс сбраживания может производиться в нескольких режимах:

- в мезофильном режиме при температуре 35–40 °С;
- термофильном режиме при температуре 53–57 °С;
- психрофильном, «холодном», режиме сбраживания с температурой около 20 °С.



ПРИМЕЧАНИЕ

Метантенки с психрофильным, «холодным», режимом сбраживания используются для обработки отходов сельскохозяйственного производства. Для обработки осадка сточных вод «холодное» сбраживание не применяется, т.к. вследствие низких скоростей процесса требует больших объемов сооружений.

Режим термофильного сбраживания характеризуется высокой интенсивностью деструкции органических веществ и более глубокой степенью обезвоживания; кроме того, при этом достигается более высокая степень санитарной безопасности обработанного осадка, однако **применяется реже, чем мезофильный режим**, из-за значительного энергопотребления, низкой стабильности процесса и проблем с обработкой осадка после сбраживания. В результате метантенки с мезофильным режимом обработки являются на сегодняшний день стандартным вариантом при проектировании систем обработки осадка с анаэробной стабилизацией⁵.

⁵ Обработка осадка сточных вод: полезный опыт и практические советы // Издатель и авторское право: Проект по городскому сокращению эвтрофикации (Project on Urban Reduction of Eutrophication, PURE) через Комиссию по окружающей среде Союза балтийских городов. 2012. С. 125.



Какие факторы влияют на процесс анаэробного сбраживания?

На процесс влияют свойства обрабатываемого осадка. Осадок первичных отстойников легче подвергается сбраживанию и характеризуется большим выходом биогаза, чем избыточный ил, состоящий из биомассы микроорганизмов. Поэтому при анаэробной стабилизации осадка **предпочтительными являются схемы очистки с первичным отстаиванием сточных вод** в сравнении со схемами обработки, где первичные отстойники исключены.

Каковы преимущества использования последовательно подключенных метантенков?

Сбраживание может производиться в одном или нескольких реакторах — метантенках, которые могут подключаться параллельно либо последовательно. В последнем случае при двухступенчатой обработке производится разделение фаз гидролиза (кислого брожения) и метаногенеза. Указанные фазы требуют разных условий, и в них используются различные виды бактерий.



ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ

Существуют примеры реализации двухступенчатой схемы с применением термофильного режима для первой фазы и мезофильного для второй, что **позволяет значительно уменьшить объемы реакторов** в сравнении с традиционными установками и **более эффективно производить гигиенизацию осадка** за счет инактивации (т.е. частичной или полной потери активности) патогенных микроорганизмов в условиях более высоких температур.

При этом если в традиционных установках средняя продолжительность сбраживания осадка составляет 20–25 суток, то применение двухступенчатого сбраживания с термофильной первой ступенью **позволяет сократить продолжительность сбраживания до 14–15 суток**⁶.

Для чего можно применять вырабатываемый биогаз?

Продолжительное время полученный на очистных сооружениях биогаз сжигался для выработки тепловой энергии, используемой для поддержания температуры метантенков и других нужд (например, для отопления зданий, размещенных на очистных сооружениях).

В настоящее время при строительстве сооружений для сбраживания осадка предусматривается использование биогаза **для выработки электроэнергии**. Для выработки электроэнергии из биогаза, полученного на очистных сооружениях, как правило, применяются когенерационные установки на базе газотурбинных

⁶ См. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. СПб.: «Новый журнал». 2007. Т. 2. С. 1775.



и поршневых двигателей внутреннего сгорания. Когенерация, как известно, является процессом совместной выработки электрической и тепловой энергии, при котором **тепловая энергия получается как сопутствующий продукт**, получаемый из системы охлаждения двигателей и при извлечении теплоты уходящих дымовых газов. При этом электрический КПД когенерационных установок составляет 30–40 %. Таким образом, большая часть энергии биогаза даже при выработке электроэнергии превращается в теплоту.

Продолжаются разработки по повышению эффективности использования энергии биогаза на очистных сооружениях (например, применение тепловых насосов в сочетании с установками для получения тепловой энергии, обработка газа и его подача в газораспределительные сети населенных пунктов и т.д.).

СПРАВКА

В Республике Беларусь получение биогаза в последнее время развивается как одно из направлений по использованию возобновляемых источников энергии в основном при сбраживании отходов сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности. Самым известным объектом, где в настоящее время используется анаэробное сбраживание осадка сточных вод, является КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод»⁷. Проектирование и строительство подобных систем производится на очистных сооружениях других городов.

Каким образом можно осуществлять очистку биогаза?

При применении двигателей внутреннего сгорания для выработки электроэнергии необходимо проводить обработку получаемого биогаза. Поскольку газ, поступающий из метантенков, содержит серу в виде сероводорода, то его **сжигание без предварительной очистки приводит к интенсивной коррозии оборудования**. В связи с этим очистка биогаза от соединений серы вместе с обезвоживанием биогаза являются необходимыми мерами по предотвращению коррозии.

Очистка биогаза от соединений серы может производиться с использованием химико-физических или биологических методов или их комбинации.

При химико-физической обработке биогаза предусматриваются:

- добавление в осадок перед сбраживанием солей железа;
- адсорбция железосодержащими субстратами (сухой фильтр);
- обработка на фильтрах с активированным углем;
- отмывка щелочами в скрубберах.

Биологические методы, основанные на удалении сероводорода за счет использования биоценоза окисляющих сероводород микроорганизмов, для очистки биогаза на очистных сооружениях используются реже.

О других технологиях обработки осадка сточных вод и применяемом оборудовании, а также о возможности использования осадка сточных вод после обработки рассмотрим в следующем номере.

⁷ <http://bmpz.by>