



## Выбор системы для механической и термической обработки осадков сточных вод

А. В. Цветнов, В. В. Акимов,  
ООО «КемИнС»

С учетом актуальности вопросов обработки и утилизации осадков сточных вод сравним наилучшие доступные технологии для таких задач с акцентом на минимальную возможную стоимость утилизации продуктов обработки или даже на преобразование их во вторичные энергоносители.



**КемИнС**  
инжиниринг

ООО «КемИнС»

+7 (495) 989-22-69

8 (800) 200-21-63

[office@cesolutions.ru](mailto:office@cesolutions.ru)

[www.cesolutions.ru](http://www.cesolutions.ru)

Типы оборудования, используемые для обезвоживания осадков сточных вод, не являются универсальными. Помимо капитальных затрат, важен учет особенностей и стоимости эксплуатации. При этом такие параметры, как своевременное сервисное обслуживание и наличие квалифицированного персонала, играют не меньшую роль, чем продолжительность эксплуатации, производительность установки и ее стоимость.

Способность осадка сточных вод к обезвоживанию зависит не только от его типа (активный, сырой, избыточный и т. д.), но и от распределения воды, а также от структуры

На правах рекламы

и состава твердых частиц. При этом стоимость утилизации из-за высокого начального содержания воды может составлять от 40 до 50 % капитальных затрат на эксплуатацию предприятия водоочистки.

Во всех видах осадка содержится от 90 до 99 % жидкости, которая состоит из свободной воды (60–70 %), коллоидно-связанной (20–30 % в составе флокул) и гигроскопической (4–10 %, капиллярной) и химически связанной в составе твердых частиц (0,5 %). Суммарное содержание твердых веществ (органических и неорганических) в смеси составляет от 1 до 8 %.

Свободная вода отделяется от осадка простой фильтрацией или отжимом, коллоидно-связанная вода может быть частично переведена в свободную при коагуляции или флокуляции или при термической обработке. Гигроскопическая вода удаляется только при сжигании осадка. Удаление из осадка только свободной воды недостаточно для того, чтобы осадок приобрел влажность, при которой его можно транспортировать на плоских поверхностях (менее 83 %), и необходимо, как правило, удалять еще до 30 % коллоидно-связанной воды [1, 2].

Ранее для обезвоживания осадков сточных вод применялись иловые карты, которые занимают большие площади и могут быть причиной вторичного загрязнения природной среды. Желание сократить эти территории привело к развитию технологий, основанных на различных механических способах обезвоживания осадков и применении реагентов (коагулянтов и флокулянтов) для повышения водоотдачи.

Сегодня на практике достижимое содержание сухого твердого вещества для различных осадков сточных вод после механического обезвоживания находится в диапазоне 15–35 % (85–65 % воды), даже если установка обезвоживания и флокулянт подобраны верно. Насколько максимальным может быть механическое обезвоживание, зависит от выбранного типа оборудования и параметров процесса.

## Выбор оборудования для обезвоживания

Аппарат для каждого случая должен выбираться согласно требованиям заказчика. Технологически системы можно различать по типу организации воздействия на осадок: ленточные фильтр-прессы, центрифуги и камерные фильтр-прессы. В табл. 1 ► 00 приведено сравнение различных систем.

ТАБЛИЦА 1

## СРАВНЕНИЕ АППАРАТОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКА

Показатели	Ленточный фильтр-пресс	Камерно-мембранный фильтр-пресс	Декантирующая центрифуга
Капитальные затраты, %	100	170	150
Срок службы, лет	10	30	20
Режим эксплуатации	Непрерывный	Периодический	Непрерывный
Расход реагентов, %	100	95	120
Потребляемая мощность (кВт/м <sup>3</sup> осадка)	0,10	0,2	0,5
Максимально достижимая влажность осадка, масс. %	80 [3]	65 [3]	80 [3]

**Примечание.** Расчеты проведены на примере активного ила (расход – 50 м<sup>3</sup>/ч, содержание сухого вещества – 1 500 кг/ч, органическое сухое вещество приблизительно 67 %, 8 300 ч эксплуатации в год). Силовые параметры и методики расчета производительности определены по монографии Е. А. Пугачева «Процессы и аппараты обработки осадков сточных вод» [4]. Полученные данные проверены на очистных сооружениях водоканалов Москвы и Екатеринбурга.

Преимущество ленточного пресса (рис. 1 ► 00) заключается в низких инвестиционных затратах при небольшой производительности. Так как производительность агрегата ниже, чем у двух других систем, может потребоваться применение нескольких технологических линий. Другим недостатком является высокая остаточная влажность осадка. Ленточный фильтр-пресс используется в основном при небольших производительностях.



Рис. 1. Ленточный фильтр-пресс



Рис. 2. Декантирующие центрифуги на Люберецких очистных сооружениях

В последние годы как на муниципальных, так и на промышленных очистных сооружениях все чаще пробуют применять декантирующие центрифуги (рис. 2 > 00). Они удобны с точки зрения полной автоматизации, абсолютно закрытой конструкции и непрерывности процесса, но при этом имеют большой расход энергии и реагентов. Также декантирующие центрифуги требуют высококвалифицированного обслуживающего персонала и относительно дорогой сервисной поддержки со стороны поставщика оборудования.

В связи с изложенным на практике наибольшее применение получили автоматические камерно-мембранные фильтр-прессы, позволяющие использовать, помимо давления подающего насоса, дополнительный механический отжим осадка путем его сжатия посредством мембран, расположенных на фильтровальных плитах. Камерно-мембранные фильтр-прессы по сравнению с камерными позволяют снизить влажность осадка более чем на 10 % и уменьшить продолжительность цикла на 25 %. Основным недостатком этого типа оборудования является периодический режим работы – необходимость остановки на время разгрузки, которую следует учитывать при расчете суточной производительности. К недостаткам также можно отнести открытую конструкцию фильтр-прессов.



Сейчас наиболее распространены автоматические камерно-мембранные фильтр-прессы, несмотря на некоторые недостатки.

Однако эти недостатки с лихвой перекрываются следующими преимуществами:

- ▶ большая площадь обезвоживания, часто составляющая несколько сотен или даже тысяч квадратных метров;
- ▶ высокое давление (от 12 до 25 бар), обеспечивающее оптимальное содержание сухого вещества в выгружаемом осадке;
- ▶ возможность отмывки остатков химикатов из осадков производственных сточных вод;
- ▶ продувка осадка сжатым воздухом для вытеснения свободной и капиллярной воды;
- ▶ отсутствие необходимости в высокой квалификации обслуживающего персонала;
- ▶ низкий расход энергии и реагентов.

Тем не менее постоянно повышающиеся требования надзорных органов к утилизации осадков сточных вод, в том числе к их составу, создают предпосылки для поиска технологий, позволяющих дополнительно снизить влажность утилизируемого продукта. Новые возможности кроются в термической обработке, а именно в сушке уже обезвоженного осадка.

В пользу сушки после обезвоживания говорят следующие доводы:

- ▶ снижается количество утилизируемого осадка;
- ▶ улучшается транспортируемость;
- ▶ стабилизируется микробиологическая и гигиеническая безопасность.

## Выбор термического процесса в зависимости от качества осадка

Обычно сушка осадка сточных вод – это очень энергозатратный процесс. В качестве энергоносителей (сушильных агентов) применяют дымовые газы, воздух, пар, горячую воду или термомасло. Теоретическое потребление энергии для испарения 1 т воды при нормальном давлении составляет 627 кВт•ч, включая тепло, необходимое для нагрева воды до 100 °С, нагрев твердых веществ и потери на поверхности сушилки. В зависимости от способа обработки осадка внутри сушилок в области очистки сточных вод применяют следующие типы сушилок:

- ▶ ленточные;
- ▶ барабанные;
- ▶ сушилки кипящего слоя.



Рис. 3. Барабанная сушилка

Выбор типа сушилки во многом зависит от свойств обрабатываемого осадка и типа применяемого сушильного агента.

Наиболее широкий спектр применения имеют ленточные сушилки, но для этого они должны быть оснащены подходящим устройством подачи и распределения осушаемого продукта. Поскольку в ленточной сушилке материал не подвергается механическому воздействию, его физические свойства (будь он липким или состоящим из минеральных веществ) мало влияют на процесс, что является большим преимуществом.

Барабанные сушилки (рис. 3 ▶ 00) и сушилки с кипящим (псевдооживленным) слоем позволяют компенсировать колебания содержания воды в осадке сточных вод, если они оснащены системой обратного смешивания с высушенным гранулятом. В этом случае специальная автоматическая система управления обеспечивает постоянную влажность смеси на входе в сушилку. При сушке в кипящем слое обезвоженный осадок подается непосредственно в псевдооживленный слой с помощью специального загрузочного устройства.

Если целью является переработка максимально широкого спектра осадков различного состава или происхождения, то ленточные и барабанные сушилки имеют преимущества перед сушкой в кипящем слое, так как гранулы на ленте или в барабане подвергаются меньшим механическим нагрузкам.

## Возможные источники энергии и эксплуатационные требования

Ленточная сушилка (рис. 4 ▶ 00) идеально подходит для всех видов первичных и вторичных источников энергии. Благодаря низкой рабочей температуре она также может использовать отработанное тепло в диапазоне 80–150 °С напрямую или в качестве вторичного источника энергии.

Барабанная сушилка работает при температуре на входе более 400 °С и поэтому наиболее экономична при проектировании с прямым горением. Помимо нефти, биогаза или природного газа в некоторых случаях может использоваться отработанный газ с ТЭЦ. Поэтому такой тип сушилок хорошо подходит для использования в очистных сооружениях, где биогаз, полученный в результате сбраживания, может использоваться в качестве недорогого источника энергии.



Для небольших установок лучше подойдут ленточные сушилки, а для высокопроизводительных решений – барабанные и с кипящим слоем.

Сушилки с кипящим слоем могут работать при более низких температурах и требуют применения таких теплоносителей, как пар среднего давления или термальные масла. В промышленных системах часто имеется достаточное количество пара среднего давления, поэтому дополнительные инвестиции в производство тепла не требуются.

В то время как ленточные сушилки используются в секторе переработки осадка сточных вод в основном для небольших установок (до 8 т/ч испарения воды на линию), барабанные сушилки и в особенности сушилки с кипящим слоем могут использовать преимущество экономии энергоресурсов в масштабе высокой производительности (до 12 т/ч испарения воды на линию).

Благодаря простому управлению ленточная сушилка может работать в режиме частичной или переменной нагрузки. Барабанные сушилки и сушилки с кипящим слоем более ограничены в диапазоне управления и требуют относительно постоянного расхода поступающего осадка.

Все три системы могут обогреваться косвенно, хотя барабанные и ленточные сушилки также могут быть оснащены прямой подачей тепла с использованием дымовых или технологических газов. Концепции установок позволяют компенсировать колебания содержания сухого вещества в подаваемом осадке. Эксплуатация без постоянного контроля со стороны персонала, полностью автоматические запуск и остановка являются стандартными характеристиками сушилок, как и со-



Рис. 4. Ленточная сушилка

временная концепция безопасности, которая также отвечает требованиям взрывозащиты.

Из-за низкой интенсивности испарения ленточные сушилки требуют относительно большой площади размещения, которая при этом примерно линейно увеличивается с ростом производительности, если только не используются многоярусные сушилки. Однако при небольших расходах осадка и (или) невысокой его исходной влажности площадь ленточных сушилок может быть сопоставима или даже меньше, чем у других систем. При использовании сушилок с кипящим слоем и барабанных потребность в площади с ростом производительности возрастает в меньшей степени, так как в этом случае расчетным параметром будет объем сушилки.

## Выбросы при сушке

При сушке осадков сточных вод неизбежно образование газовых потоков, содержащих пылевые или газообразные загрязнения, обладающих также неприятными запахами. В связи с этим во всех сушильных системах должна быть предусмотрена соответствующая очистка отработанного воздуха. Количество загрязнений зависит от состава осадка, температуры и других условий сушки. Поскольку все три системы выполняют относительно мягкую сушку, степень загрязнен-

**СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СУШИЛОК  
ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Показатели	Барабанная сушилка DDS	Ленточная сушилка BDS	Сушка в псевдоожиженном слое FDS
Принцип сушки	Конвекционный	Конвекционный	Конвекционный
Температура сушки на поверхности осадка, °С	90	70	80
Способ подачи осадка	Смешение осадка с высушенным гранулятом перед входом в сушилку	Смешение осадка с высушенным гранулятом посредством шнекового конвейера перед входом в сушилку	Прямая подача осадка в псевдоожиженный слой через загрузочное устройство
Обработка осадков разного качества	Высокая гибкость благодаря контролю обратного смешивания; преимущество в высокой твердости и плотности получаемых гранул	Высокая гибкость благодаря контролю обратного смешивания; отсутствие механических нагрузок на частицы осадка при сушке, сравнительная нечувствительность к крупным частицам, синтетическим материалам и волокнам	Идеально подходит для максимально однородной консистенции осадка, ограниченно пригоден для осадка с очень низким содержанием органических веществ и очень высоким содержанием волокон
Сушильный агент	Дымовой газ температурой 350–600 °С	Горячий воздух >160 °С Термомасло >200 °С Горячая вода >150 °С	Термомасло 250/220 °С (130 °С) Пар > 6 бар
Источники энергии	Отходящее тепло от блочной ТЭЦ, если температура отходящих газов более 400 °С, природный газ, биогаз, сжиженный газ	Отходящее тепло от блочной ТЭЦ, горячая вода 100–150 °С, природный газ, биогаз в сочетании с парогенераторами, термомасляный контур, технологический пар	Природный газ, биогаз в сочетании с парогенератором, термомасляный контур, отработанное тепло. Дымовые газы от цементных печей, блочной ТЭЦ. Технологический пар
Режим эксплуатации сушилки (контакт теплоносителя с осадком сточных вод)	Прямой или непрямой	Прямой или непрямой	Непрямой
Эксплуатационные требования	Испарение воды – 3–12 т/ч при частичной загрузке 40–100 %. Полная сушка до 96 % сухого вещества. Автоматическая работа системы. Автоматическая регулировка изменяющихся свойств осадка. Компактный дизайн, многоуровневый	Испарение воды – 0,5–8,0 т/ч при частичной загрузке – 20–100 %. Частичная и полная сушка до 94 % сухого вещества. Автоматическая работа системы. Автоматическая регулировка изменяющихся свойств осадка. Одноуровневая или многоуровневая конструкция	Испарение воды – 3–10 т/ч при частичной загрузке – 30–100 %. Полная сушка до 98 % сухого вещества. Автоматическая работа системы. Автоматическая регулировка изменяющихся свойств осадка. Аналогична барабанной системе, но требует меньше места

Показатели	Барабанная сушилка DDS	Ленточная сушилка BDS	Сушка в псевдооживленном слое FDS
<b>Качество продукта</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гранулят 1–4 мм.</li> <li>• Сферический, очень устойчивый к давлению, с узким спектром гранул и высокой плотностью.</li> <li>• Минимальное количество пыли.</li> <li>• &gt; 90 % сухого вещества.</li> <li>• Гарантированное обеззараживание</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гранулят 1–8 мм.</li> <li>• Менее стандартные формы и размеры.</li> <li>• Несколько более высокое содержание мелких фракций, чем в барабанной сушке.</li> <li>• &gt; 90 % сухого вещества.</li> <li>• Гарантированное обеззараживание благодаря увеличенной зоне сушки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гранулят 1–4 мм.</li> <li>• Неоднородная, шероховатая поверхность.</li> <li>• Несколько более высокое содержание мелких фракций, чем в барабанной сушке.</li> <li>• &gt; 90 % сухого вещества.</li> <li>• Обеззараживание благодаря длительной выдержке и контролю температуры на выходе из сушилки</li> </ul>
<b>Техника безопасности (взрыв, пожар и индивидуальная защита)</b>	Гарантируется инертизация сушильного контура дымовыми газами; конструктивная взрывозащита периферийных частей системы	Отсутствие инертизации зоны сушки и конструктивной взрывозащиты из-за работы при низких температурах	Инертизация всей зоны сушки до бункера с продуктом включительно обеспечивается дымовыми газами или низкокислородными сушильными газами
<b>Выбросы:</b> • газ • вода • пыль	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Очистка отработанного воздуха с помощью скруббера в сочетании с биофильтром или дождеванием.</li> <li>• Объемы отработанного воздуха &lt; 10 000 м<sup>3</sup>/ч.</li> <li>• Конденсат с учетом предполагаемой мощности.</li> <li>• Разрежение при закрытом управлении процессом.</li> <li>• Аспирация продуктоносущих агрегатов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Очистка отработанного воздуха, например с помощью скруббера.</li> <li>• Объемы отработанного воздуха &gt; 10 000 м<sup>3</sup>/ч.</li> <li>• Возможность работы без конденсата благодаря насыщению вытяжного воздуха влагой.</li> <li>• Разрежение при закрытом управлении процессом.</li> <li>• Аспирация продуктоносущих агрегатов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Очистка отработанного воздуха с помощью биофильтра, скруббера.</li> <li>• Объемы отработанного воздуха &lt; 3 000 м<sup>3</sup>/ч.</li> <li>• Конденсат + подпиточная вода.</li> <li>• Сверхдавление при закрытом управлении процессом</li> </ul>

ности отходящего газа для них является примерно одинаковой. Количество отработанного воздуха при сушке в прямых системах очень мало (все три типа сушилок могут быть сконструированы в виде не прямых систем), что позволяет осуществлять его подачу в горелку в качестве воздуха для горения. В случае систем с прямым нагревом (так конструируют ленточные и барабанные сушилки) количество отработанного воздуха увеличивается за счет дымового газа, что приводит к нескольким большим затратам на систему газоочистки.

В ленточной сушилке отработанный воздух, насыщенный влагой, может отводиться напрямую через биофильтр, при этом нет необходимости использовать отдельный конденсатор паров, что исключает образование дополнительных стоков.

В табл. 2 > 00 представлено сравнение различных типов сушилок в рамках применения в области очистки сточных вод. ■



Список литературы приведен на сайте журнала

