

Стратегия обезвреживания осадков биологической очистки сточных вод

© 2013. Ю. В. Куликова, к.т.н., доцент, Я. И. Вайсман, д.м.н., зав. кафедрой,
Ю. В. Завизион, магистрант, Е. В. Калинина, к.т.н., доцент,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
e-mail: anfimova@rambler.ru

Статья посвящена проблеме утилизации осадков сточных вод, образующихся при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод. Приведены результаты технико-экономической оценки и сравнительный анализ наиболее перспективных технологий обезвреживания и переработки осадков сточных вод, обоснована стратегия обращения с данным видом отходов.

The article is devoted to the problem of biological waste water sludge treatment utilizing. The results of feasibility study and comparative analysis of the most promising technologies of sludge disposal and recycling are presented. Strategy of waste water sludge treatment utilizing in accordance with the result of the analysis is presented.

Ключевые слова: осадки сточных вод, пиролиз, сжигание, сушка

Keywords: sewage sludge, pyrolysis, combustion, drying

Эксплуатация сооружений биологической очистки городских сточных вод приводит к образованию значительных объемов отходов, основная доля которых приходится на осадок первичных отстойников и избыточные активные илы. Ежегодно в России на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства образуется около 1 млрд м³ осадков сточных вод, утилизация которых является сложной экологической и технологической проблемой.

С целью обоснования стратегии утилизации осадков сточных вод в качестве объекта исследования были выбраны городские очистные сооружения мощностью 450 тыс. м³/сут, в ходе эксплуатации которых образуется 9900 м³/сут. или 3,6 млн м³/год осадков сточных вод, в том числе:

- сырой осадок, представляющий собой вязкую суспензию с влажностью 95–96% и долей органических соединений в сухом веществе 75–80%;
- избыточный активный ил влажностью 98–99% и долей органических соединений 70–90% [1].

Особенностью осадков сточных вод (ОСВ), образующихся на исследуемой станции, является высокое содержание тяжелых металлов, серосодержащих и хлорсодержащих соединений, что усложняет процессы их утилизации.

Основным способом утилизации ОСВ, в том числе и на рассматриваемом объекте, в настоящее время является механическое обезвоживание, складирование и накопление обезвожен-

ных осадков на иловых картах или илонакопительях. С увеличением объемов ОСВ требуется всё больше площадей для их размещения, а увеличение стоимости земель приводит к неуклонному росту средств на эксплуатацию и обслуживание мест складирования. Хранение осадков сточных вод на иловых площадках (картах), как правило, сопровождается экологическими рисками загрязнения поверхностных и подземных вод, почв, растительности. Таким образом, данный метод не отвечает современным экологическим и техническим требованиям.

Перспективной стратегией обращения с осадками сточных вод является использование интенсивных технологий, обеспечивающих существенное снижение конечного объема осадков и/или получение товарного продукта (компоста, строительных материалов, топлива и т. п.)

С целью обоснования стратегии обращения с осадками сточных вод, образующихся на станциях очистки значительной мощности (обслуживающих более 300 тыс. чел), был проведён комплексный технико-экономический анализ существующих технических решений.

Основные задачи исследования заключались в следующем:

- 1) проведение анализа существующих технологий переработки избыточных активных илов и смеси осадков сточных вод;
- 2) технико-экономическая оценка наиболее перспективных технологий обезвреживания и переработки осадков;

3) парное сравнение выбранных технологий и обоснование оптимальной стратегии обращения с отходами.

На основании анализа научно-технической литературы и предложений рынка в области утилизации осадков сточных вод для исследования были выбраны три основные группы интенсивных методов:

- анаэробная деструкция с получением биогаза и обеззараживание ОСВ;
- аэробное разложение и детоксикация осадков с получением органоминеральных удобрений и компостов;
- термические методы: сушка, сжигание в печах различной конструкции, пиролиз [1, 2].

Из-за технических ограничений по размещению блока анаэробного сбраживания на очистных сооружениях, являющихся объектом исследования, наличия значительных концентраций тяжёлых металлов в составе ОСВ было принято решение об исключении из дальнейшего рассмотрения данного метода.

На следующей стадии исследования был проведён сравнительный технико-экономический анализ следующих основных технологий утилизации осадков сточных вод, используемых в настоящее время:

А. Термические методы:

- сушка в барабанной печи;
- низкотемпературная конвективная сушка;
- высокотемпературная сушка в сушилке со шнеком;
- сушка в барабанной печи с последующим пиролизом;
- сжигание в барабанной печи;
- сжигание в печи «кипящего» слоя.

Б. Биологические методы:

- компостирование.

С. Традиционные методы (экстенсивные):

- размещение в илонакопителях;
- захоронение.

На основании проведённых экономических расчётов для рассматриваемых технологий утилизации осадков сточных вод были установлены основные технико-экономические показатели. Сравнение уровня удельных капитальных затрат и себестоимости утилизации при реализации различных технологий представлено в таблице 1.

Проведённый технико-экономический анализ технологий утилизации позволил установить, что при захоронении осадков на полигоне и достигаются минимальные удельные капитальные затраты, но при этом себестоимость существенно выше в сравнении с размещением осадков в собственных илонакопителях (на 37%). Отличительной особенностью инвестиций в развитие илонакопителей является тот факт, что они не должны совершаться одновременно (за 1-2 года), а могут быть равномерно распределены на 20 лет.

Однако, учитывая возможные изменения природоохранного законодательства, увеличение платы за размещение отходов в окружающей среде и рост тарифов на захоронение, перспективной является схема переработки осадков с получением товарных продуктов или их ликвидации.

Компостирование осадков, несмотря на простоту и низкую себестоимость процесса, не обеспечивает существенного снижения объёмов осадка, получаемый продукт не находит постоянного и гарантированного спроса на рынке и должен размещаться на полигонах и собственных илонакопителях, что приведёт к росту себестоимости переработки осадка до уровня 1300–1400 руб./т.

Среди технологий термической переработки осадков минимальная себестоимость ути-

Таблица 1

Сводные технико-экономические показатели технологий утилизации осадков сточных вод

Технология	Удельные капитальные затраты, руб./м ³	Себестоимость утилизации, руб./м ³
Сушка в сушилке барабанного типа	111,0	1966,2
Конвективная низкотемпературная сушка	447,5	914,4
Сушка в сушилке шнекового типа	137,7	715,5
Сушка+пиролиз в барабанной печи	653,9	1503,0
Сжигание в барабанной печи	245,1	1177,6
Сжигание в печи кипящего слоя	821,9	1270,3
Компостирование	123,8	707,9
Размещение в илонакопителях (в пересчёте на объём отходов, образующихся за 20 лет)	415,7	472,2
Захоронение	0	645,5

лизации может быть достигнута при утилизации осадков сточных вод методом высокотемпературной сушки со шнеком (715,5 руб./м³).

Сравнимо низкие капитальные затраты на реализацию технологий барабанной сушки и сжигания в барабанных печах (111 руб./м³ и 245,13 руб./м³) компенсируются значительными эксплуатационными затратами, что приводит к росту себестоимости утилизации. Данный метод отличается значительным удельным расходом энергоносителя и низкой эффективностью использования тепловой энергии в технологическом процессе.

Метод пиролиза отличается сложностью аппаратного оформления и высокой себестоимостью (1503 руб./м³), в настоящий момент в РФ отсутствует промышленная реализация данной технологии для утилизации осадков.

Наибольшие капитальные затраты необходимы для реализации технологии сжигания в печах «кипящего» слоя (1800 млн. руб.), что связано с отсутствием отечественных производителей оборудования и необходимостью закупки дорогостоящего оборудования за рубежом. В то же время сжигание в «кипящем» слое широко используется для утилизации ОСВ и может быть рекомендовано как перспективный способ обращения с осадками очистных сооружений.

В связи с вступлением в ВТО и общим политическим стремлением к приведению экологических требований и правил РФ к соответствию Европейским стандартам, следует ожидать роста экологических платежей, а также ужесточения требований к объектам размещения отходов (полигонам). Средняя цена на захоронение в странах Европы, имеющих высокий уровень экологической безопасности системы обращения с отходами, составляет 95–110 евро/т или 3800–4400 руб./т (с учётом экологических платежей). К указанной цифре будет стремиться тариф на захоронение в РФ, т. е. следует ожидать роста тарифа на захоронение осадков сточных вод в 6-7 раз в ближайшие 15 лет, что делает нецелесообразным сценарий развития системы утилизации ОСВ, опирающийся на захоронение отходов на внешних полигонах (аутсорсинг).

В связи с постоянным увеличением объёмов ОСВ и ростом тарифов на захоронение на внешних объектах целесообразным является использование собственных объектов размещения и поиск оптимальных интенсивных методов утилизации. На основании предварительной технико-экономической оценки,

проведённой на первом этапе, для дальнейшего рассмотрения были выбраны следующие технологии:

- низкотемпературная конвективная сушка;
- высокотемпературная сушка в сушилке со шнеком;
- сжигание в барабанной печи;
- сжигание в печи «кипящего» слоя;
- размещение в илонакопителях.

При обосновании стратегии утилизации осадков сточных вод на долгосрочный период кроме анализа явных технико-экономических показателей должна быть проведена оценка экологических, экономических и технологических рисков. Данная оценка выбранных технологий переработки осадков сточных вод проводилась с использованием метода экспертных оценок.

Сравнение технологий проводили методом парного сравнения по следующим критериям: воздействие на окружающую среду, капитальные и эксплуатационные затраты, производительность технологического оборудования, сложность аппаратного оформления технологического процесса, простота эксплуатации и обслуживания технологического процесса, надёжность технологического оборудования, потребность в энергоресурсах для реализации технологии, выход полезных продуктов для дальнейшего использования, наличие сертификатов на оборудование, используемое для реализации технологии, промышленный опыт применения технологии на территории РФ.

После парного сравнения проводилось суммирование вертикальных строк сравнительной таблицы и ранжирование технологий утилизации ОСВ по степени экологической безопасности и экономической эффективности. Результаты сравнительного анализа технологий утилизации осадков сточных вод представлены в таблице 2.

Технология низкотемпературной конвективной сушки с успехом применяется для утилизации осадка на станции биологической очистки городских сточных вод (г. Уфа), но при этом себестоимость переработки осадка составляет порядка 920 руб./т, что на 30% выше себестоимости сушки осадков с использованием печей шнекового типа.

Высокотемпературная сушка (шнекового типа), обеспечивающая снижение объёма осадка в 3,5 раза (в сравнении с объёмом осадка после механического обезвоживания), имеет низкую себестоимость и удельные капитальные затраты

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа технологий термической утилизации осадков сточных вод (в баллах)

Критерий оценки	Высокотемпературная сушка	Низкотемпературная конвективная сушка	Сжигание в печи «кипящего» слоя	Размещение в илонакопителях	Сжигание в барабанной печи
Воздействие на окружающую среду	0	2	4	6	4
Потребность в площадях	0	2	2	6	4
Удельные капитальные затраты	0	4	6	2	2
Себестоимость утилизации	0	2	6	0	4
Производительность технологического оборудования	2	0	0	4	6
Сложность аппаратного оформления технологического процесса	4	6	6	0	2
Простота эксплуатации и обслуживания технологического процесса	2	6	6	0	4
Надёжность технологического оборудования	2	4	4	0	6
Потребность в энергоресурсах для реализации технологии	4	4	2	0	6
Выход полезных продуктов для дальнейшего использования	2	0	6	6	6
Наличие сертификатов на оборудование, используемое для реализации технологии	6	0	0	4	4
Промышленный опыт применения технологии на территории РФ	6	2	0	0	4
Итого:	28	32	42	28	52
Ранг	I	II	III	I	IV

Технология сжигания в печах «кипящего» слоя с успехом используется для сжигания осадка на сооружениях г. Санкт-Петербурга на протяжении 15 лет, обеспечивая снижение объёмов осадка в 16 раз. При этом себестоимость и удельные капитальные затраты утилизации осадков значительно выше в сравнении с прочими технологиями.

Размещение осадка в собственных илонакопителях обеспечивает минимальную себестоимость переработки осадка (472,2 руб./м³), но при реализации данной технологии возникает максимальная потребность в площадях, которые на длительный срок выводятся из хозяйственного использования. В настоящий момент, в связи с ростом цен на земельные участки в черте крупных городов, дополнительное изъятие земель под размещение илонакопителей становится серьёзной проблемой, в т. ч. и для станции биологической очистки сточных вод, выбранной в качестве объекта исследования.

Ограничения по строительству илонакопителей, связанные с нехваткой земель, делают необходимым сочетание данной технологии с интенсивной переработкой, в качестве которой может быть рекомендована высокотемпературная сушка в сушилках шнекового типа (при условии получения необходимых сертификатов и успешного опытно-промышленного испытания для утилизации ОСВ), обладающая невысокими капитальными и эксплуатационными затратами, минимальным воздействием на окружающую среду. В результате сушки происходит значительное снижение массы и объёма осадка. Получаемый продукт инертен, безвреден в санитарном отношении, лишен неприятных запахов, удобен для транспортировки и хранения.

В результате сравнения вариантов утилизации осадка была обоснована стратегия обращения с осадками, включающая два основных этапа:

1 этап (3–5 лет): размещение осадка в ило-накопителях;

2 этап (через 3–5 лет): высокотемпературная сушка осадка и размещение высушенного осадка в собственных илонакопителях.

Высокотемпературная сушилка шнекового типа (рис.) отличается высокой тепловой эффективностью за счёт обеспечения большой поверхности контакта материала с горячей поверхностью роторов (А) по длине сушилки. По длине роторов сушилки имеются безвитковые зоны (В), где лопатками обеспечивается разрушение крупных комков и гомогенизация частиц ОСВ.

Конструкция шнековой сушилки значительно повышает коэффициент объёмного заполнения её материалом. Объём твёрдого материала в сушилке существенно превышает объём газовой фазы. При этом создание вытяжным вентилятором отрицательного давления, позволяет постоянно отводить образующиеся пары воды, обеспечивая высокую эффективность процесса сушки.

Сушилка работает в непрерывном режиме. Подвод тепла в сушильную камеру осуществляется за счёт циркуляции жидкого (масляного) теплоносителя в полых шнеках и стенках сушилки, обеспечивая косвенный нагрев осадка до требуемой температуры за счёт теплопередачи. Нагрев теплоносителя осуществляется через систему теплообменников топочными газами. Камера сушки осадка герметизирована, имеет давление ниже окружающего и анаэробную атмосферу, что исключает воспламенение осадка.

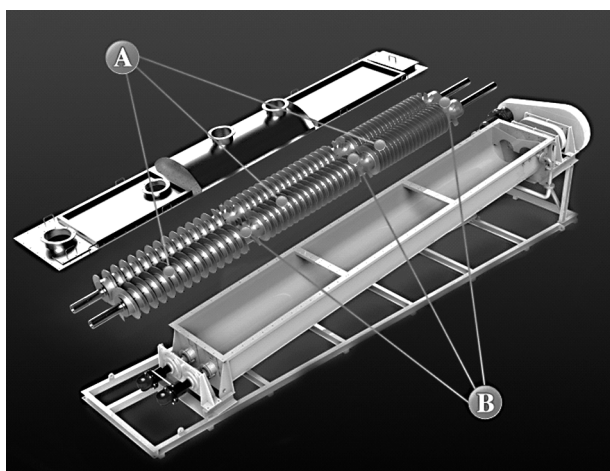


Рис. Конструкция шнековой сушилки BIO-SCRU®

Примечание: А – горячая поверхность роторов; В – безвитковые зоны, где специальными лопатками обеспечивается разрушение крупных комков и гомогенизации частиц ила.

На систему сушки поступают осадки сточных вод, предварительно обезвоженные центрифугированием или фильтрацией. Содержание твёрдой фракции в осадке не должно быть ниже 12%, при этом достигается содержание влаги в материале после сушки 10–15%.

Из опыта промышленной эксплуатации систем сушки шнекового типа за счёт большой поверхности теплообмена и эффективной теплоизоляции тепловая эффективность установки (КПД) достигает 83%. Потребление природного газа при сушке составляет 64,5 м³ на 1 м³ утилизируемого осадка.

Основные преимущества сушки шнекового типа:

- 1) полная автоматизация процесса сушки.
- 2) минимальное потребление энергоресурсов, которое достигается за счёт применения современных теплоизоляционных материалов с низким коэффициентом теплопередачи.
- 3) компактность системы и как следствие – снижение капитальных затрат на строительство в сравнении с аналогичными технологиями.
- 4) надёжность и обеспечение эксплуатации в непрерывном режиме работы в течение года.

Температура нагрева ила в сушилке обеспечивает полную гибель патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, бактерий группы кишечной палочки, личинок и куколок синантропных мух с получением порошкообразного материала.

Высокотемпературная сушка (температура материала достигает 150 °С) обеспечивает обезвреживание осадков с получением удобрения класса А (согласно американского классификатора – 40CFR 503 regulations). Высушенный осадок может также быть использован в качестве добавочного топлива на электростанциях, мусоросжигательных заводах, в цементных печах; для получения горючего газа при пиролизе (газификации) [3].

В ходе обоснования оптимальной стратегии утилизации осадков сточных вод была проведена комплексная технико-экономическая оценка различных технологий обращения с отходами, позволившая получить следующие выводы.

1. В связи с постоянным увеличением объёмов ОСВ и ожидаемым ростом тарифов на захоронение построение стратегии обращения с осадками, базирующейся на передаче отходов для захоронения на внешние объекты, нецелесообразно.

2. На основании проведённой оценки инвестиций в объекты обращения с осадками

сточных вод наиболее перспективной признана схема, предусматривающая строительство илонакопителей для размещения осадка на первом этапе и последующее введение технологий интенсивной утилизации.

3. Срок ввода интенсивных технологий утилизации осадков зависит от следующих факторов:

- суммарной ёмкости реконструированных и новых илонакопителей;
- динамики роста тарифов на захоронение отходов и экологических платежей;
- наличия земельных участков для размещения илонакопителей.

4. На основании анализа себестоимости утилизации и дополнительной оценки экологических, экономических и технологических рисков была выбрана в качестве основной интенсивной технологии переработки ОСВ – сушка в сушилке шнекового типа, обеспечивающая минимальные удельные капитальные затраты (137,7 руб/м³) и себестоимость утилизации (715,5 руб/м³).

5. Выявлено, что биологические методы утилизации ОСВ (сбраживание и компостирование) при достаточно низкой себестоимости не обеспечивают существенного снижения объёмов осадка, получаемый продукт не находит спроса на рынке и должен размещаться на полигонах/собственных илонакопителях.

6. Установлено, что сжигание в барабанной печи осадков обеспечивает низкую эффективность выгорания органической фракции, возможны проскоки органики на выходе, технология отличается низкой производительностью на единицу объёма аппарата (громоздкие печи), имеет высокую себестоимость,

связанную со значительными удельными затратами энергоносителя и низкой эффективностью использования тепловой энергии в технологическом процессе.

7. Утилизация ОСВ методом пиролиза была признана на данном этапе нецелесообразной, т. к. данный метод отличается сложностью аппаратного оформления, в настоящий момент в РФ отсутствует промышленная реализация технологии.

8. Технологии низкотемпературной конвективной сушки и сжигания в печах «кипящего» слоя с успехом используется для утилизации ОСВ в РФ, но отличаются высокой себестоимостью в сравнении с высокотемпературной сушкой в сушилке шнекового типа.

9. Утилизация осадка с использованием шнековой сушилки наряду с низкой себестоимостью утилизации отличается высокой энергоэффективностью (КПД порядка 83%), компактностью, надёжностью, обеспечивает снижение объёма осадка в 3,5 раза.

10. Использование сушки для утилизации осадков сточных вод в крупных городах поможет не только снизить экологические платежи за размещение отходов, вернуть земли в хозяйственное пользование, но и получить товарные продукты, которые могут найти дальнейшее применение в качестве топлива.

Литература

1. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
2. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. 248 с.
3. Ветошкин А.Г. Защита литосферы от отходов. Учебное пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.