

**Интенсификация анаэробного сбраживания осадков сточных вод**Иванович В. В.<sup>1</sup>, Марцуль В. Н.<sup>2</sup>, Сапон Е. Г.<sup>2</sup><sup>1</sup>УП «Минскводоканал»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет»

Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены результаты промышленных испытаний вариантов анаэробного сбраживания осадков сточных вод на пилотной экспериментальной установке. Рассматриваются варианты интенсификации стабилизации осадков сточных вод. Представлены результаты расчета энергетического баланса различных вариантов сбраживания.*

Деятельность очистных сооружений канализации неизбежно связана с образованием осадков сточных вод (ОСВ), которые в Республике Беларусь относят к отходам 3 и 4 классов опасности [1]. Несмотря на то, что объем образующихся ОСВ не превышает и 1 % от объема поступающих на очистку сточных вод, затраты на их обработку и удаление могут составлять до 50 % от общей стоимости очистки. Осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод должны подвергаться обработке, обеспечивающей возможность их дальнейшего использования или размещения в соответствии с требованиями законодательства об обращении с отходами [2]. В Беларуси, как правило, такие отходы длительно хранятся на иловых площадках и не подлежат дальнейшему использованию. Вместе с тем ОСВ обладают целым рядом полезных свойств, а именно содержание значительного количества биогенных элементов и высоким энергетическим потенциалом, сравнимым с энергетическим потенциалом торфа.

Одним из наиболее перспективным вариантом использования ОСВ в Республике Беларусь является метод анаэробной стабилизации. Анаэробная стабилизация, также называемая сбраживанием, представляет собой контролируемый непрерывный процесс, в котором органический материал разрушается консорциумом бактерий в отсутствие кислорода. Анаэробное сбраживание приводит к значительному уменьшению объема сухого вещества осадка и образованию биогаза. Основной задачей стабилизации является уменьшение количества болезнетворных микроорганизмов, яиц от паразитов, что делает ОСВ более безопасными в санитарно-гигиеническом отношении. В настоящее время в стране ежедневно образуется порядка 20 тыс. м<sup>3</sup> этих жидких отходов при этом лишь 6 % от этого количества используются с целью получения биогаза. Биогазовые комплексы, обеспечивающие стабилизацию ОСВ, функционируют в Барановичах и Бресте.

Для обоснования проектных решений по анаэробному сбраживанию ОСВ необходимо располагать информацией о основных показателях процесса, учитывающих условия конкретных очистных сооружений канализации. Определение таких показателей возможно при проведении промышленных испытаний с использованием пилотных анаэробных биореакторов, работающих непрерывно в проточном режиме с постоянным контролем в режиме реального времени таких параметров как, температура, выход и состава биогаза, рН, состав жидкой и твердой фаз ОСВ и др.

В рамках рамочного соглашения о сотрудничестве между УП «Минскводоканал», УО «Белорусский государственный технологический университет», компаниями AQUA-Consult Ingenieur GmbH, Cambi и Европейским экологическим центром KREVOX в 2019 году компанией AQUA-Consult Ingenieur GmbH была предоставлена экспериментальная установка контейнерного типа для проведения промышленных испытаний. Работы по проведению испытаний режимов анаэробного сбраживания осуществлялась на базе Минской очистной станции сотрудниками БГТУ совместно со специалистами УП «Минскводоканал». Пилотная установка контейнерного типа включала в себя четыре реактора объемом 80 дм<sup>3</sup> каждый. Каждый реактор был оснащен системами дозирования-выгрузки ОСВ, дозирования щелочи (для корректировки рН), сбора и анализа газа со встроенными автоматическими измерительными устройствами. В ходе проведения испытаний сбраживанию подвергалась смесь сырого осадка и избыточного активного ила, отбиравшаяся в цеху обезвоживания ОСВ. Промышленные испытания проводились в течение девяти месяцев, в результате анаэробной стабилизации подвергнуто более трех тонн ОСВ, выполнено более тысячи лабораторных исследований по различным показателям. В ходе испытаний получена информация о степени сбраживания органического вещества ОСВ Минской очистной станции, суточном выходе биогаза, а также составе жидкой фазы сброженных осадков.

Установлено, что среднее значение степени сбраживания органического вещества ОСВ Минской очистной станции:

- в мезофильном режиме сбраживания, при гидравлическом времени удержания 20 суток, составляет 38,9 %;
- в термофильном режиме сбраживания, при гидравлическом времени удержания 12 суток, составляет 45,2 %.

Ввиду того, что процесс анаэробной стабилизации ОСВ характеризуется малой скоростью все большее внимание уделяется применению методов его интенсификации с целью уменьшения объемов метантенков, повышения выхода биогаза и соответственно энергетической эффективности работы биогазовых комплексов. Среди перспективных направлений интенсификации процесса генерации биогаза выделяют технологий предварительной

обработки ОСВ, повышающие скорость и степень биоразлагаемости органических веществ за счет быстрого перевода их в растворенное состояние. Для предварительной обработки используют термические, ультразвуковые, микроволновые, механические и ферментативные методы. При использовании некоторых процессов также можно добиться хороших результатов в улучшении водоотдающих свойств осадков. Многие из методов все еще находятся на стадии испытаний, однако самые перспективные уже получили коммерческое применение. Наиболее распространенным методом интенсификации стабилизации является термофильный гидролиз (термогидролиз) протекающий при температуре более 100 °С и повышенном давлении. Известно, что при определенных условиях использование термогидролиза позволяет увеличить выход биогаза из ОСВ более чем на 50 % [3].

На основании данных, полученных в результате промышленных испытаний, а также анализа научно-технической литературы, составлены энергетические балансы для четырех вариантов анаэробного сбраживания, как с учетом предварительной обработки, так и без неё:

- сбраживание в мезофильном режиме;
- сбраживание в термофильном режиме;
- двухступенчатое анаэробное сбраживание;
- сбраживание в термофильном режиме с предварительным термогидролизом.

Энергозатраты на анаэробное сбраживание включают затраты электроэнергии и тепловой энергии.

Основными статьями расхода тепловой энергии являются:

- 1) непосредственный подогрев загружаемого осадка до необходимой расчетной температуры;
- 2) возмещение потерь тепла, уходящего через стенки, днище и перекрытие метантенка;
- 3) возмещение потерь тепла, уносимого с уходящими газами.

Основными статьями расхода электрической энергии в расчете учтены:

- 1) перекачка осадка в метантенк;
- 2) перемешивание осадка в метантенке;
- 3) перекачивание осадка в метантенке через теплообменник;
- 4) очистка возвратных потоков после обезвоживания сброженного осадка;
- 5) другие затраты, характерные для каждого конкретного варианта интенсификации анаэробного сбраживания.

В таблице представлены обобщенные данные о количестве свободно располагаемой энергии после сжигания биогаза в когенерационных установках применимо к очистным сооружениям производительностью 510 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Таблица

Количество получаемой энергии при анаэробном сбраживании ОСВ

Вариант	Тепловая, Гкал/сут	Электрическая, тыс. кВт·ч/сут
Термофильный режим	57	99
Мезофильный режим	51	77
Двухступенчатое сбраживание	56	97
Сбраживание с предварительным термогидролизом	78	126

Таким образом, на основании расчетов энергетического баланса было показано, что технология предварительного термогидролиза характеризуется наибольшим количеством получаемой электрической энергии и наименьшим количеством сухого вещества сброженных ОСВ. Следует отметить, что при сравнении вариантов не учитывался ряд статей расхода энергии, к примеру, на очистку отходящих газов, работу вспомогательного оборудования и т.п. Следовательно, абсолютные значения полезной энергии могут быть меньше рассчитанных значений. Тем не менее выявленные тенденции и сравнительные оценки вариантов сохраняются.

Окончательное принятие решения о применении того или иного метода интенсификации анаэробного сбраживания для условий конкретного очистного сооружения должно быть основано на анализе стоимости их жизненных циклов с учетом вариантов последующего использования сброженных ОСВ.

### Литература

1. ОКРБ 021-2019 Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь. Минск, 2019. – 88 с.
2. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования, ТКП 45-4.01-321-2018 (33020) Утверждён и введён в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 марта 2018 г. № 67. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2018. – 86 с.
3. Храменков, С. В. Повышение эффективности обработки осадка сточных вод с помощью высокотемпературного гидролиза перед сбраживанием / С. В. Храменков [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 10. – С. 55–60.