

УДК 628.385

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-50-55>

Роль обезвреживания осадков сточных вод анаэробной стабилизацией для АО «Ростовводоканал»

Н. Е. Гуторова, О. В. Дымникова

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Рассмотрены проблемы утилизации органических осадков очистки коммунально-бытовых сточных вод г. Ростова-на-Дону. Для решения данной проблемы предложен метод анаэробного (метанового) сбраживания осадков сточных вод.

Постановка задачи. Задачей данного исследования является определение роли анаэробной стабилизации для АО «Ростовводоканал».

Теоретическая часть. Определены различия между мезофильным и термофильным режимами сбраживания осадков, предложена технологическая линия подготовки биогаза к использованию. Произведены расчеты основных параметров процесса анаэробного сбраживания в метантенке.

Выводы. Результаты проведенного анализа показали, что с помощью данной модернизации решаются основные проблемы.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание осадка, осадки сточных вод, анаэробная стабилизация, метантенк, биогаз.

Для цитирования: Гуторова, Н. Е. Роль обезвреживания осадков сточных вод анаэробной стабилизацией для АО «Ростовводоканал» / Н. Е. Гуторова, О. В. Дымникова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 4. — С. 50–55. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-50-55>

Role of wastewater sludge treatment by anaerobic stabilization for Rostovvodokanal company

N. E. Gutorova, O. V. Dymnikova

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article deals with the problems of treatment of organic sludge from the purification of municipal wastewater in Rostov-on-Don. To solve this problem, a method of anaerobic (methane) digestion of sewage sludge was proposed.

Problem Statement. The objective of this study is to determine the role of anaerobic stabilization for Rostovvodokanal company.

Theoretical Part. The differences between mesophilic and thermophilic modes of sediment digestion were determined, a technological line for preparing biogas for use was proposed. Calculations of the main parameters of the anaerobic digestion process in the digester have been made.

Conclusion. The results of the analysis showed that with the help of this modernization, the main problems are solved.

Keywords: anaerobic sludge digestion, sewage sludge, anaerobic stabilization, heated digestion tank, biogenic gas.

For citation: Gutorova N. E., Dymnikova O. V. Role of wastewater sludge treatment by anaerobic stabilization for Rostovvodokanal company: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;4:50–55. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-50-55>

Введение. Ростов-на-Дону является крупным промышленным городом с количеством жителей, превышающим миллион человек, что приводит к образованию огромного количества сточных вод, которые очищаются на городских очистных сооружениях (АО «Ростовводоканал»). В технологии очистки сточных вод одной из актуальных экологических проблем является обработка и утилизация осадков. Особенно это касается органических осадков очистки городских сточных вод. До настоящего времени отходы активного ила складываются на свободных территориях рядом с ПП «Ростовская станция аэрации» в г. Ростове-на-Дону и представляют реальную экологическую и биологическую опасность. Согласно данным «Ростовской станции аэрации» (ПП «РСА») в сутки образуется порядка 60–70 т уплотненной смеси сырого осадка и избыточного активного ила по сухому веществу влажностью 94–97%, что приводит к необходимости увеличения территорий для иловых карт. Возможности увеличения их площадей ограничены в связи с активным ростом города и пригородов. На сегодняшний момент осадки сточных вод после цеха механического обезвоживания поступают вначале на иловые площадки для дальнейшего обезвоживания, а затем на территории, прилегающие к ПП

«РСА». При этом отмечено, что активный ил, обладая хорошими адсорбционными характеристиками, содержит большое количество загрязняющих компонентов, включая тяжелые металлы и др. Поскольку осадки не подвергаются процессу обеззараживания, они могут служить источником не только химического, но и микробиологического загрязнения. По данным мониторинга установлено, что осадки негативно воздействуют на качество воды в реке Дон, поскольку территории складирования расположены на берегу. Степень негативного воздействия увеличивается при их естественном увлажнении. Таким образом, осадки сточных вод являются санитарно-экологической проблемой г. Ростова-на-Дону, требующей незамедлительного решения.

Постановка задачи. Осадки сточных вод являются отдельным видом отходов. Они составляют в крупных городах примерно 1/3 общего количества отходов производства и потребления [1]. Постоянное загрязнение подземных и поверхностных вод, почв, находящихся на территории, происходит из-за складирования и хранения осадков на очистных сооружениях. Проблема заключается в накоплении огромных объемов осадков на иловых картах. Для решения этой задачи предлагается применять анаэробное сбраживание осадков сточных вод и избыточного активного ила с целью сокращения загрязнения окружающей среды и использования всего объема органического вещества. При анаэробном сбраживании получаем биогаз и обеззараженный осадок.

Теоретическая часть

Анаэробное сбраживание осадков сточных вод. Для переработки и сбраживания осадков сточных вод чаще всего применяют септики, двухъярусные отстойники и метантенки. При небольшой производительности используют септики, с помощью которых происходит перегнивание выпавшего осадка и осветление воды. Для отстаивания сточной воды, сбраживания и уплотнения выпавшего осадка применяют двухъярусные отстойники. Однако наиболее распространенными являются метантенки, используемые для сбраживания осадка при одновременном подогреве и интенсивном перемешивании.

Метантенки представляют собой резервуар с коническим дном без доступа кислорода. Их используют для получения биогаза и обеззараживания осадка. В процессе сбраживания в метантенке изменяется химический состав осадков. В результате повышается зольность и снижается концентрация углеводов, жиров, белков и выделяется биогаз.

Анаэробную стабилизацию можно проводить в двух температурных режимах:

- мезофильная — от 30 до 38°C;
- термофильная — от 50 до 60°C.

При сравнении двух температурных режимов были выявлены следующие преимущества термофильного сбраживания [2, 3]:

- требуемый объем метантенка в 2 раза меньше;
- затрачивается значительно меньше энергии на анаэробный процесс;
- суммарный выход газа в 2 раза больше;
- время сбраживания осадка в 3 раза меньше;
- полностью погибают патогенные микроорганизмы и гельминты;
- практически исчезает неприятный запах осадка;
- обезвоживаемость стабилизированного осадка намного лучше.

Производительность анаэробной стабилизации определяется по химическому составу осадка, степени распада органического вещества, режиму загрузки и выгрузки осадка, методу перемешивания, температуре, дозе загрузки, объему и составу биогаза [4]. Биогаз получается за счет распада основной части органического вещества (белков, жиров и углеводов): жиров — 60–65%; белков и углеводов — 40–35%. Поэтому большее количество газа получаем из осадков первичных отстойников за счет значительного содержания жиров. Скорость распада увеличивается с возрастанием температуры, но температура не влияет на предел распада. Время пребывания осадка, количество загружаемого осадка коррелируют с температурным режимом сбраживания. Из-за неэффективного перемешивания осадка в метантенке уменьшается время пребывания осадка, действительный объем метантенка, выход биогаза. Происходит расход органического вещества.

Производственный процесс обработки осадка сточных вод заключается в следующем:

- предварительное механическое уплотнение осадка;
- анаэробное (метановое) сбраживание в метантенках;
- механическое обезвоживание осадка;
- использование получаемого в метантенках газа — метана для работы когенераторной установки

(Блочной ТЭЦ);

— сжигание излишнего газа — метана факелом (свеча сжигания) в аварийных ситуациях.

Использование биогаза. Полученный биогаз при анаэробной стабилизации осадков сточных вод имеет следующий состав: метан — 55–70%; диоксид углерода — 27–45%; азот и сероводорода — 3%; водород — 1% [5]. В соответствии с составом биогаза необходимо провести предварительную его очистку и осушение.

Технологическая линия подготовки биогаза состоит из: гравийного фильтра; охладителя; адсорбера с цеолитом; компрессора; газопоршневых установок, газгольдера и факела сжигания газа.

Биогаз (метан) подается в гравийный фильтр [5], предназначенный для предварительного обезвоживания и фильтрации (грубой очистки) газа. Осушку газа осуществляют для защиты и предотвращения быстрого износа оборудования очистки газа и газопроводов [6]. Для этого предусмотрен метод охлаждения газа до температуры ниже точки росы в теплообменнике с удалением сконденсированной воды, а охлажденный газ пропускается через второй теплообменник и снова нагревается до рабочей температуры. Биогаз содержит ядовитый сероводород, который повреждает газовые двигатели блочной теплоэлектростанции [6], и угольную кислоту, которая повышает теплоту сгорания. Поэтому после охлаждения газ поступает в адсорбер с искусственно синтезированными цеолитами (пермутиты), которые сейчас стали доступными по цене и качеству. Оставшийся биогаз — преимущественно метан — поступает на компрессорные установки для компримирования и сжижения [5]. Далее он направляется на использование в когенераторные установки компактной блочной ТЭЦ для выработки электрической и тепловой энергии. Газгольдер предназначен для усреднения расхода биогаза и рассчитан на двухчасовой выход газа. Факел сжигания газа используется в аварийных ситуациях и при остановке завода на профилактическое обслуживание.

Технологический расчет. В метантенк для обезвреживания поступают три вида осадков: отбросы с решеток, которые сначала измельчают на дробилках; осадок из первичных отстойников; избыточный активный ил, который предварительно обрабатывают в илоуплотнителях.

1. Количество сухого вещества осадков (т/сут.) рассчитывается по следующему выражению [7]:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{M(100-W)\rho}{100}, \quad (1)$$

где M — объем осадка, м³/сут.; W — влажность сырого осадка, %; ρ — плотность осадка, равная 1 т/м³ [7].

Отбросы с решеток:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{1,55(100-90)1}{100} = 0,155.$$

Осадок из первичных отстойников:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{1423(100 - 96,5)1}{100} = 49,81.$$

Уплотненный избыточный активный ил:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{6378(100 - 99,25)1}{100} = 47,84.$$

2. Расход осадка и ила по беззольному веществу (т/сут.) определяется по формуле [7]:

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}}(100-B_r)(100-S_{\text{ос}})}{100 \cdot 100}, \quad (2)$$

где B_r — гигроскопическая влажность осадка, 5%; $S_{\text{ос}}$ — зольность сухого вещества для отбросов с решеток и осадка из первичных отстойников 30 %, для активного ила 25 % [7].

Отбросы с решеток:

$$Q_{\text{без}} = \frac{0,155(100 - 5)(100 - 30)}{100 \cdot 100} = 0,1.$$

Осадок из первичных отстойников:

$$Q_{\text{без}} = \frac{49,81(100 - 5)(100 - 30)}{100 \cdot 100} = 33,12.$$

Уплотненный избыточный активный ил:

$$Q_{\text{без}} = \frac{47,84(100 - 5)(100 - 25)}{100 \cdot 100} = 31,81.$$

Таблица 1

Поступление осадка в метантенк

Концентрация осадка	M , м ³ /сут.	W , %	$Q_{\text{сух}}$, т/сут.	$Q_{\text{без}}$, т/сут.	B_r , %	$S_{\text{ос}}$, %
С решеток	1,55	90	0,155	0,1	5	30
Из первичных отстойников	1423	96,5	49,81	33,12	5	30
С илоуплотнителей	6378	99,25	47,84	31,81	5	30
Итого:	$M_{\text{общ}}=7802,55$		$M_{\text{сух}}=97,8$	$M_{\text{без}}=65,03$		

3. Средний показатель влажности смеси, %, рассчитывается по формуле [7]:

$$B_{\text{см}} = 100 \left(1 - \frac{M_{\text{сух}}}{M_{\text{общ}}} \right), \quad (3)$$
$$B_{\text{см}} = 100 \left(1 - \frac{97,8}{7802,55} \right) = 98,7.$$

4. Средний показатель зольности смеси, %, выражается [7]:

$$Z_{\text{см}} = 100 \left(1 - \frac{M_{\text{без}}}{Q_{\text{сух}} \left(\frac{100-B_{\Gamma}}{100} \right) + I_{\text{сух}} \left(\frac{100-B'_{\Gamma}}{100} \right)} \right), \quad (4)$$

где $Q_{\text{сух}}$ — общий объем сухого вещества отбросов с решеток и сухого вещества осадка из первичных отстойников, т/сут.; $I_{\text{сух}}$ — объем сухого вещества, уплотненного избыточного активного ила, т/сут.; B_{Γ} — гигроскопическая влажность смеси отбросов с решеток и осадка из первичных отстойников, %; B'_{Γ} — гигроскопическая влажность уплотненного избыточного активного ила, % [7].

$$Z_{\text{см}} = 100 \left(1 - \frac{65,03}{49,965 \left(\frac{100-5}{100} \right) + 47,835 \left(\frac{100-5}{100} \right)} \right) = 30$$

5. Объем метантенка, м³, определяется [7]:

$$V = M_{\text{общ}} \frac{100}{D}, \quad (5)$$

где $M_{\text{общ}}$ — суточный расход осадков, м³/сут.; D — суточная доза загрузки осадка в метантенк, %. В зависимости от режима сбраживания осадка и влажности смеси осадков, поступающих в метантенк, при термофильном режиме и влажности осадка 97 %, принимаем дозу загрузки осадка $D=19$ % [7].

$$V = 7802,55 \frac{100}{19} = 41\,066.$$

Принимаем три метантенка 9000 м³. Общий объем метантенков будет больше требуемого, и фактическая доза загрузки D , %, понизится [7]. Поэтому:

$$D' = \frac{VD}{V_m n}, \quad (6)$$

где n — число метантенков, шт.; V_m — объем одного метантенка, м³.

$$D' = \frac{41066 \cdot 19}{9000 \cdot 3} = 29.$$

6. Предел распада смеси, %, определяется [7]:

$$a_{\text{см}} = \frac{a_o Q_{\text{без}} + a_n U_{\text{без}}}{M_{\text{без}}}, \quad (7)$$

где a_o , a_n — пределы распада осадка 53 % и ила 44 %; $M_{\text{без}}$ — суммарный объем беззольного вещества осадка и ила, т/сут.; $Q_{\text{без}}$ — общий объем беззольного вещества осадка, т/сут.; $U_{\text{без}}$ — объем беззольного вещества ила, т/сут [7].

$$a_{\text{см}} = \frac{53 \cdot 33,22 + 44 \cdot 31,81}{65,03} = 48,6.$$

7. Выход газа на 1 кг загруженного беззольного вещества, м³, определяется [7]:

$$y' = \frac{a_{\text{см}} - n D'}{100}, \quad (8)$$

где n — коэффициент, зависящий от влажности осадка 97% и термофильного режима сбраживания, принимаемый 0,17.

$$y' = \frac{48,6 - 0,17 \cdot 29}{100} = 0,44.$$

8. Полный выход газа, м³/сут., получается [7]:

$$\Gamma = y' \cdot M_{\text{без}} \cdot 1000, \quad (9)$$
$$\Gamma = 0,44 \cdot 65,03 \cdot 1000 = 28613,2.$$

9. Мокрые газгольдеры предназначены для сглаживания давления газа в газовой сети, емкость которых V_{Γ} , м³, предусматриваем на 2–4-х часовой выход газа [7]:

$$V_{\Gamma} = \frac{3\Gamma}{24}, \quad (10)$$
$$V_{\Gamma} = \frac{3 \cdot 28613,2}{24} = 3576,65.$$

Принимаем один газгольдер 1820 м³.

10. Количество беззольного вещества в сброженной смеси, т/сут., рассчитывается [7]:

$$M'_{\text{без}} = \frac{M_{\text{без}}(100-100y')}{100}, \quad (11)$$

$$M'_{\text{без}} = \frac{65,03(100 - 100 \cdot 0,44)}{100} = 36,42.$$

11. Количество сухого вещества в сброженной смеси, т/сут., определяется [7]:

$$M'_{\text{сух}} = (M_{\text{сух}} - M_{\text{без}}) + M'_{\text{без}}, \quad (12)$$

где $(M_{\text{сух}} - M_{\text{без}})$ — зольная часть, которая не подвергалась преобразованию в процессе сбраживания [7].

$$M'_{\text{сух}} = (97,8 - 65,03) + 36,42 = 69,19.$$

12. Зольность сброженной смеси, %, определяется [7]:

$$Z'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{без}} \cdot 100 \cdot 100}{M'_{\text{сух}}(100 - V'_T)}, \quad (13)$$

где V'_T — гигроскопическая влажность сброженной смеси, 6 % [7].

$$Z'_{\text{см}} = 100 - \frac{36,42 \cdot 100 \cdot 100}{69,19(100 - 6)} = 44.$$

13. Влажность сброженной смеси рассчитывается [7]:

$$V'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{сух}}}{M_{\text{общ}}} 100, \quad (14)$$

$$V'_{\text{см}} = 100 - \frac{69,19}{7802,55} 100 = 99,1.$$

Выводы. В работе рассмотрена одна из наиболее серьезных экологических проблем, связанная с поступлением в среду и длительным хранением осадков сточных вод. Наибольшую биологическую опасность представляет активный ил, который занимает большие площади рядом с городской территорией. Для модернизации была предложена технология переработки осадков сточных вод, которая параллельно помогает решить еще две проблемы. Полученный биогаз можно использовать в котельном цехе ПП «РСА», а также при помощи когенерационных установок преобразовать его в электрическую энергию и направить на очистные сооружения. Сброженный осадок после цеха механического обезвоживания можно использовать в качестве удобрений и, благодаря этому, значительно уменьшить площади иловых карт.

Библиографический список

1. Решетов, Н. Г. Проблемы очистки и утилизации осадков сточных вод / Н. Г. Решетов, А. С. Олейник // Вестник воронежского государственного университета. — 2001. — № 1. — С. 114–116.
2. Асипкина, Л. А. Сравнение мезофильного и термофильного режима работы биогазовых установок в климатических условиях Западной Сибири / Л. А. Асипкина, С. В. Романенко, Е. А. Купресова // Экология и управление природопользованием : сб. трудов I междунар. науч. конф. — Томск, 2017. — № 1. — С. 5960.
3. Курманов, А. К. Совершенствование технологии производства биогаза / А. К. Курманов // Вестник ВНИИМЖ. — 2014. — № 3. — С. 170–177.
4. Сидорова, Л. П. Обработка осадков очистных сооружений анаэробным сбраживанием / Л. П. Сидорова, И. С. Анеха // Вестник экология центрально-черноземной области РФ. — 2012. — № 1(28). — С. 5–14.
5. Устройство для подготовки биогаза для получения электроэнергии и использования ДВС : патент 22509 Республика Казахстан: С10К 1/20 / С. К. Абенов, В. А. Матвеев. — № 2009/0240.1; заявл. 24.02.2009; опубл. 17.05.2010, Бюл. № 5. — 4 с.
6. Суслов, Д. Ю. Подготовка и использование биогазового топлива / Д. Ю. Суслов, П. С. Седых // Эпоха науки. — 2016. — № 7. — С. 46–49.
7. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод : учебник / Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева [и др.]. — Волгоград : ВолгГТУ, 2018. — 184 с.

Сдана в редакцию 01.09.2020

Запланирована в номер 09.10.2020

Об авторах:

Гуторова Наталья Евгеньевна, магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-8142>, gutorinka@yandex.ru

Дымникова Ольга Валентиновна, заведующая кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону,



пл. Гагарина, 1), кандидат химических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3233-0453>, dymoval@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н. Е. Гуторова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; О. В. Дымникова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Submitted 01.09.2020

Scheduled in the issue 09.10.2020

Authors:

Gutorova, Natalya E., Master's degree student, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-8142>, gutorinka@yandex.ru

Dymnikova, Olga V., Head, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci., Associate professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3233-0453>, dymoval@mail.ru

Contribution of the authors:

N. E. Gutorova — formulation of the main concept, goals and objectives of the study, calculations, text preparation, conclusions formulation; O. V. Dymnikova — scientific supervision, analysis of research results, revision of the text, correction of conclusions.