

УДК 628.336.5

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.85400

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ

© К. Б. Сорокіна

### INFLUENCE ANALYSIS OF SEWAGE SLUDGE METHANE FERMENTATION PARAMETERS ON PROCESS EFFICIENCY

© К. Sorokina

*Проаналізовано залежність ефективності розкладання органічної речовини осадів стічних вод від умов організації та проведення процесу. Підтримка оптимальних значень ряду параметрів дозволяє забезпечити необхідну повноту протікання процесу збродження осадів, а також отримання розрахункової кількості біогазу. Утилізація біогазу дозволяє скоротити витрати на обігрів самих реакторів і забезпечити додаткове отримання інших видів енергії*

**Ключові слова:** осадів стічних вод, анаеробне збродження, мезофільні умови, термофільні умови, біогаз, метан

*The efficiency dependence of sewage sludge organic matter decomposition from organization and conditions of the process is analyzed. Support of the optimal values of several parameters ensures to provide completeness of the sludge fermentation process and obtain biogas in calculated amount. Biogas utilization reduces costs for reactor heating and provides additional obtaining of other types of energy*

**Keywords:** sewage sludge, anaerobic fermentation, mesophilic conditions, thermophilic conditions, biogas, methane

#### 1. Вступ

При очищенні стічних вод основну частину їх забруднень, а також біомаси та реагентів, які використовують для очищення, затримують у вигляді осадів. Велика кількість осадів, що утворюються, їх вологість і схильність до розкладання обумовлюють необхідність реалізації технічних рішень з їх переробки.

Стабілізація осадів заснована на зміні їх фізико-хімічних характеристик та супроводжується пригніченням життєдіяльності гнильних бактерій (мікроорганізмів кислотного бродиння).

Крім цього, органічні сполуки в осадах можуть розглядатися для утворення енергії, так як відомо, що при збродженні в анаеробних умовах органічна речовина розпадається з утворенням основних кінцевих продуктів – метану (CH<sub>4</sub>) і двоокису вуглецю (CO<sub>2</sub>). Встановлено, що гази в основному утворюються з вуглеводів, жирів і білків, які складають 80–85 % загальної кількості органічної речовини осаду, при цьому найбільша кількість газів утворюється за рахунок розпаду жирів [1]. Так як кожен органічний компонент дає різну кількість газу, а вміст осадів різних міст відрізняється, то, отже, від кожного осаду буде отримано різну кількість газу.

Використання біогазу зменшує забруднення повітряного середовища і забезпечує скорочення підприємствами з очищення стічних вод споживання палива і енергії від міських тепло- і електростанцій.

Інтенсивний процес мінералізації вимагає створення спеціальних умов, які оптимально забезпечують всі його стадії.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що створення оптимальних умов розкладання органі-

чної речовини осадів стічних вод дозволяє забезпечити необхідну повноту протікання процесу, а також отримання розрахункової кількості біогазу.

Цим обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

#### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Серед технологічних прийомів, що реалізуються для стабілізації осадів стічних вод застосовують [2]:

– мінералізацію органічної речовини в анаеробних і аеробних умовах, теплову обробку, біотермічне розкладання;

– підвищення активної реакції середовища;

– термічну обробку;

– зневоднення осадів;

– додавання реагентів, які перешкоджають розвитку мікроорганізмів.

Вибір застосовуваного методу і ступінь його впливу можуть забезпечувати як неповну (тимчасову), так і необоротну стабілізацію.

Найбільшу доцільність для реалізації на муніципальних каналізаційних очисних спорудах мають методи біологічної анаеробної стабілізації.

Умовно прийнято, що розпад відбувається в дві фази.

На першому ступені факультативні мікроорганізми, звані іноді бактеріями, що утворюють кислоту, перетворюють складні органічні речовини осадового субстрату (білки, вуглеводи, жири) в прості органічні жирні кислоти шляхом гідролізу і ферментативного розщеплення. Основні кінцеві продукти при викори-

станні осадів в якості субстратів представлені оцтовою кислотою приблизно на 70 % і пропіоновою кислотою, вміст якої складає приблизно 15 % [3, 4]. Мікроорганізми, які беруть участь в цьому процесі, функціонують в широкому діапазоні зміни умов, і час їх ділення вимірюють годинами.

На другому ступені строго анаеробні мікроорганізми, які називають такими, що утворюють метан, перетворюють органічні кислоти в метан, діоксид вуглецю та інші гази, які присутні в малих кількостях. Ці бактерії більш чутливі до умов навколишнього середовища, ніж бактерії першої фази, і зазвичай час їх ділення вимірюють добами [4]. Саме тому весь процес контролюють бактерії другого ступеня.

При метановому зброджуванні необхідно завжди розглядати не окремі групи бактерій, а все співтовариство в цілому. Ефективність процесу в ньому залежить не тільки від діяльності організмів, що беруть участь в даній реакції, але й від життєдіяльності бактерій, які споживають продукти цієї реакції. Накопичення продуктів обміну однієї зі стадій процесу веде до гальмування інших.

При зброджуванні осадів розпад органічної речовини становить 25–53 %, відповідно зменшується кількість сухої речовини осадів (до 30 %) і підвищується їх вологість (на 1,4–1,6 %) [5].

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою досліджень був аналіз і систематизація даних про параметри, які впливають на процес анаеробного розкладання органічної речовини осадів стічних вод, що дозволить визначати оптимальні режими проведення процесу і забезпечить повноту його протікання, дасть можливість отримувати стабілізовані осадки з метою подальшої їх утилізації, забезпечить надійну та безпечну експлуатацію реакторів.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1. Аналіз основних технологічних параметрів, які впливають на ефективність процесу зброджування органічної речовини осадів стічних вод.

2. Дослідження впливу коливань параметрів стабілізації осадків на хід процесу, а також взаємозв'язок основних параметрів та їх спільний вплив на зброджування.

3. Визначення результатів, які можуть бути досягнуті при підтримці оптимальних параметрів процесу метанового зброджування осадків стічних вод.

### 4. Вплив параметрів метанового зброджування на ефективність процесу

Серед основних технологічних параметрів, які впливають на ефективність процесу зброджування, можна виділити: температуру; тривалість зброджування; навантаження за сухою беззольною органічною речовиною; концентрацію осаду, що завантажують; режим завантаження; режим перемішування.

Виходячи з теоретичних передумов, оптимальними температурами для анаеробного метанового зброджування вважають 33–35 °С у мезофільній і 53–55 °С в термофільній зонах. Однак встановлено, що температурні оптимуми при зброджуванні різних

органічних субстратів зсуваються на кілька градусів в сторону зменшення або збільшення [3].

Крім цього, в процесі зброджування мікроорганізми адаптуються до заданого температурного режиму. При переведенні мезофільного режиму на термофільний адаптація зазвичай закінчується за 10–20 діб завдяки тому, що мезофільне біологічне співтовариство завжди включає певну кількість (більше 10 %) термофільних мікроорганізмів.

Ступінь впливу короточасного зниження або підвищення температури на показники процесу істотна. Так, зниження температури всього на 2 °С відбивається на показниках процесу. Чим вище температура зброджування, тим вузьчі припустимі межі її коливань. При  $t=38$  °С припустиме коливання температури становить  $\pm 2,8$  °С, а при  $t=53$ – $55$  °С –  $\pm 0,3$  °С. Зниження температури з 50 до 40 °С протягом двох діб з подальшим підвищенням на 5 °С призводить до зниження виходу біогазу на 11 %, а якщо вказане зниження температури відбувається протягом 5 діб, то вихід газу повністю припиняється. Зниження температури з 50 до 20 °С протягом 2–5 діб призводить до повного припинення газовиділення. Підвищення температури з 38 до 60 °С протягом 12 год. з наступним відновленням початкової температури повністю зупинить газовиділення, яке знову почнеться тільки на вісімнадцяту добу.

Температурний режим тісно пов'язаний з часом перебування осаду в реакторі. Чим більше сирого осаду завантажують в метантенк, тим більше накопичується жирних кислот і знижується значення рН, тим більше потрібно часу для відновлення процесу бродіння після доведення температури до розрахованої. Тому при порушенні температурного режиму роботи метантенків і появі перших ознак порушення процесу (зменшення газовиділення, зменшення вмісту в газі метану, підвищення у складі мулової води летких жирних кислот) необхідно знижувати дозу завантаження метантенка.

Зі зменшенням тривалості зброджування, тобто з підвищенням дози завантаження, вихід газу при всіх температурних режимах знижується, однак в зоні термофільних температур це зниження відбувається повільніше, ніж в зоні мезофільних температур [6, 7]. Чим вище доза завантаження, тим вище переваги термофільного процесу за виходом газу.

Від таких параметрів, як концентрація, навантаження за сухою беззольною речовиною, а також час перебування осаду в метантенку в кінцевому рахунку залежать основні технологічні показники процесу – розпад органічної речовини і вихід біогазу [8, 9].

Також на показники анаеробного зброджування безпосередньо може впливати зміна кількості води в субстратах. При надмірно низькій (менше 91 %) і при підвищеній (понад 97 %) вологості в традиційному процесі зброджування рідких осадів відбуваються порушення, які ведуть до зниження виходу біогазу. При цьому спостерігається відхилення від норм лужності середовища та вмісту амонійного азоту в муловій рідині. При застосуванні традиційних конструкцій метантенків низька вологість осадів може призвести до повного порушення

процесу зброджування через погіршення їх властивості текучості.

Перемішування вмісту реактора необхідно проводити з метою забезпечення ефективного використання всього об'єму реактора, запобігання утворення мертвих зон та розшарування осаду, відкладення піску і утворення кірки, вирівнювання температурного поля. Крім того, перемішування має сприяти вирівнюванню концентрацій метаболітів, які утворюються в процесі бродіння і є проміжними субстратами для мікроорганізмів або інгібіторами їх життєдіяльності, а також концентрації токсичних речовин, що містяться у вихідному осаді, підтримці тісного контакту між бактеріальними ферментами та їх субстратами та ін.

Більш значний вплив неефективного перемішування в поєднанні зі зниженням температури. Зниження ефективного обсягу реактора на 50 % за рахунок поганого перемішування при  $t=35\text{ }^{\circ}\text{C}$  зменшує ефективність зброджування при великому часі перебування (більше 30 діб) на 5 %, а при  $t=30\text{ }^{\circ}\text{C}$  – на 16 %.

Але особливо впливає перемішування при короткому часі перебування осаду в реакторі. При часі перебування 10 діб ефективність зниження БСК знижується в 2 рази, а при зниженні температури процесу до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  зброджування взагалі не відбувається.

Також на процес зброджування істотно впливає режим завантаження. Біореактори можуть працювати в періодичному, безперервному і напівбезперервному режимах. При завантаженні один раз на добу швидкість розкладання значно змінюється в період між завантаженнями. Після завантаження вихід газу найвищий і в два рази перевищує вихід газу перед наступним завантаженням.

### 5. Результати досліджень

Температура надає перш за все вплив на швидкість біологічної конверсії органічної речовини мікроорганізмами, що в свою чергу визначає тривалість зброджування осаду для досягнення одного і того ж значення розпаду за виходом газу, або, навпаки, при одній і тій же тривалості ступінь розпаду або вихід газу збільшуються з підвищенням температури.

Найбільш раціональною є експлуатація метантенків за прямоочною схемою, при якій завантаження і вивантаження осаду відбуваються одночасно і безперервно. Такий режим створює сприятливі температурні умови в метантенку, так як виключається охолодження зброджуваної маси від залпових надходжень більш холодного сирого осаду та мулу, і забезпечує рівномірне газовиділення протягом доби.

Процес бродіння необхідно здійснювати при оптимальному температурному режимі, навіть короткочасне порушення якого, особливо в бік зниження температури, призводить до гальмування стадії метаногенезу, тому що метанові бактерії є вельми чутливими організмами. При цьому активно можуть проходити стадії гідролізу та кислотоутворення, здійснювані більш стійкими гідролітичними мікроорганізмами, що призводить до накопичення кислот і інших проміжних продуктів, пору-

шення трофічних зв'язків в мікробному консорціумі та процесу в цілому.

Для скорочення витрат тепла в деяких випадках застосовують згущення осадів перед зброджуванням, підігрів осадів в теплообмінниках осадом, випущеним з метантенків, або топковими газами в автономних підігрівачах, які використовують замість котелень [10].

З метою інтенсифікації процесу зброджування осадів здійснюють рециркуляцію газу під тиском, введення в метантенки біогенних добавок або вуглекислого газу. У західноєвропейських країнах для скорочення обсягу осадів та поліпшення їх водовіддачі на ряді станцій застосовують двоступеневе зброджування осадів [7]. При цьому на першому ступені осад зброджують в мезофільних умовах; другий ступінь являє собою ємність або відкритий резервуар, який не обігрівають, і він працює з низькими дозами завантаження, що призводить до ущільнення осадів і дозволяє видалити з них частину мулової води.

### 6. Висновки

Вибір і підтримку оптимальних параметрів процесу метанового бродіння проводять для досягнення наступних цілей:

- підвищення ефективності утилізації біогазу за рахунок збільшення його теплотворної здатності, що безпосередньо пов'язано із вмістом в ньому метану;
- скорочення витрат на зневоднення за рахунок поліпшення водовіддачі зброженого осаду;
- зменшення витрат на реалізацію процесу зброджування шляхом зниження його тривалості при забезпеченні заданого ступеня розпаду органічної речовини і при зменшенні обсягів споруд;
- збільшення кількості біогазу, який виділяється в процесі бродіння, з метою його використання для скорочення витрат на обігрів самих метантенків і додаткового отримання інших видів енергії.

При визначенні параметрів, які необхідно оптимізувати, і виборі способів інтенсифікації роботи метантенка необхідно чітко розуміння поставленої мети, тому що не завжди можна одночасно забезпечити вирішення декількох завдань.

### Література

1. Туровский, И. С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание [Текст] / И. С. Туровский. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 376 с.
2. Петрук, В. Г. Природоохоронні технології. Методи переробки осадів стічних вод [Текст] / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, І. І. Безвозюк, Р. В. Петрук, П. М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 324 с.
3. Del Borghi, A. Hydrolysis and thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal soil waste [Text] / A. Del Borghi, A. Converti, E. Palazzi, M. Del Borghi // *Bioprocess Engineering*. – 1999. – Vol. 20, Issue 6. – P. 553–560. doi: 10.1007/s004490050628
4. Gerardi, M. H. The microbiology of anaerobic digesters [Text] / M. H. Gerardi. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. – 188 p. doi: 10.1002/0471468967
5. Черниш, С. Ю. Шляхи інтенсифікації анаеробної переробки осадів стічних вод [Текст]: мат. міжн. наук.-пр. конф. / С. Ю. Черниш, Л. Д. Пляцук. – К.: КНУБА, 2011. – С. 153–155.

6. Абрамович, І. О. Сучасні методи отримання і утилізації біогазу з виробленням електричної енергії [Текст] / І. О. Абрамович, Ю. Г. Марченко, С. І. Абрамович, А. І. Тітов, І. Л. Бондар // Комунальне господарство міст. – 2006. – № 74. – С. 45–49.

7. Zhang, H. J. Sludge treatment to increase biogas production [Text] / H. J. Zhang. – Stockholm: Trita-LWR Degree Project, 2010. – 32 p.

8. Оліферчук, В. П. Отримання біогазу шляхом анаеробного збродження осадів стічних вод на каналізаційних очисних спорудах [Текст] / В. П. Оліферчук, М. Т. Матвієнко // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Т. 22, № 11. – С. 114–118.

9. Шаманський, С. Й. Енергоєфективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіа-підприємств [Текст] / С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5, № 8 (77). – С. 39–45. doi: 10.15587/1729-4061.2015.52264

10. Данилович, Д. А. Влияние предварительной обработки осадков сточных вод на полноту протекания процесса метанового сбраживания [Текст] / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, М. В. Кевбрина, Д. В. Гусев // Вода: технологии, материалы, оборудование, экология. – 2009. – № 2. – С. 24–26.

#### References

1. Turovskiy, I. S. (2008). Osadki stochnyih vod. Obezvozhivanie i obezrazhivanie. Moscow: DeLi print, 376.

2. Petruk, V. G., Vasilivskiy, I. V., Bezvozyuk, I. I., Petruk, R. V., Turchik, P. M. (2013). Prirodoohoroni tehnologii. Metodi pererobki osadsv stchnih vod. Vinnitsya: VNTU, 324.

3. Del Borghi, A., Converti, A., Palazzi, E., Del Borghi, M. (1999). Hydrolysis and thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste. Bioprocess Engineering, 20 (6), 553–560. doi: 10.1007/s004490050628

4. Gerardi, M. H. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. Hoboken: John Wiley & Sons, 188. doi: 10.1002/0471468967

5. Chernish, E. Yu., Plyatsuk, L. D. (2011). Shlyahi Intensifikatsiyi anaerobnoyi pererobki osadiv stichnih vod. Materiali Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi. Kyiv: KNUBA, 153–155.

6. Abramovich, I. O., Marchenko, Yu. G., Abramovich, S. I., Titov, A. I., Bondar, I. L. (2006). Suchasni metodi otrimannya i utilizatsiyi biogazu z viroblenniam elektrichnoyi energiyi. Komunal'ne gospodarstvo mist, 74, 45–49.

7. Zhang, H. J. (2010). Sludge treatment to increase biogas production. Stockholm: Trita-LWR Degree Project, 32.

8. Oliferchuk, V. P., Matvienko, M. T. (2012). Otrimannya biogazu shlyahom anaerobnoho zbrodzhennya osadiv stichnih vod na kanalizatsiynih ochisnih sporudah. Naukoviy visnik NLTU Ukrayini, 22 (11), 114–118.

9. Shamanskiy, S. Y., Boychenko, S. V. (2015). Energy efficient and environmentally friendly technology of stabilizing airline enterprises' wastewater sludges. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/8 (77), 39–45. doi: 10.15587/1729-4061.2015.52264

10. Danilovich, D. A., Kozlov, M. N., Kevbrina, M. V., Gusev, D. V. (2009). Vliyanie predvaritel'noy obrabotki osadkov stochnyih vod na polnotu protekaniya protsessu metanovogo sbrzhivaniya. Voda: tehnologii, materialy, oborudovanie, ekologiya, 2, 24–26.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Душкін С. С.  
Дата надходження рукопису 15.11.2016*

**Сорокіна Катерина Борисівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра водопостачання, водовідведення і очистки вод, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002  
E-mail: kbsorokina@ukr.net

**Sorokina Kateryna**, PhD, Associate Professor, Department of Water Supply, Sewerage and Water Treatment, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshala Bazhanov str., 17, Kharkiv, Ukraine, 61002  
E-mail: kbsorokina@ukr.net