

УДК 628.32:628.385:663.142

ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

В.П.Клюс, канд. техн. наук, **Г.О.Четверик**, **З.В.Маслюкова**,

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,

02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича 20А, тел./факс +38-044-206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net

Наведено результати експериментальних досліджень переробки осадів стічних вод шляхом анаеробного бродіння та газифікації. Визначено ступінь деструкції органічної речовини, вихід біогазу та вміст метану в біогазі. Розроблено енергоефективну технологію утилізації осадів з мулових майданчиків, за якою проведено переробку свіжих осадів. Визначено теплоту згоряння генераторного газу та вихід коксозольного залишку. Бібл. 12, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: біогаз, стічні води, осади, анаеробне бродіння, газифікація.

TECHNOLOGIES OF SEWAGE SLUDGE RECYCLING OF TREATMENT PLANTS

Kliys V., PhD, **Chetveryk H.**, **Masliukova Z.**,

Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine,

Hnata Khotkevycha, 20A, 02094, Kyiv, Ukraine, phone/fax +38-044-206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net

The results of experimental researches of sewage sludge processing by anaerobic fermentation and gasification are presented. The degree of degradation of organic matter and biogas output and methane content in biogas are determined. The energy-efficient technology for the disposal of sludge from sludge sites has been developed which has been used for the processing of fresh sediments. The heat of combustion of the generator gas and the output of the coke oven residue are determined. References 12, tables 1, fig. 3.

Key words: biogas, sewage water, sludge, anaerobic digestion, gasification.



Клюс В.П.
Kliys V.

Відомості про автора: працює в Інституті відновлюваної енергетики НАН України, зав. відділом відновлюваних органічних енергоносіїв, старший науковий співробітник. Кандидат технічних наук (1980 рік).

Область наукової діяльності: біоенергетика, газифікація біомаси, переробка органічних відходів.

Публікації: 65 наукових публікацій, у тому числі 18 патентів.

ORCID: 0000-0001-8536-3211

Information about the author: Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, head of bioenergy department, senior researcher. PhD since 1980 year.

Research area: bioenergy, gasification of biomass, organic waste utilization.

Publications: 65 scientific publications, including 18 patents.

ORCID: 0000-0001-8536-3211



Четверик Г.О.
Chetveryk H.

Відомості про автора: працює в Інституті відновлюваної енергетики НАН України, науковий співробітник.

Область наукової діяльності: біогаз, переробка органічних відходів.

Публікації: 37 наукових публікацій, у тому числі 3 патенти.

ORCID: 0000-0001-9398-1968

Information about the author: Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, researcher.

Research area: biogas, organic waste utilization.

Publications: 37 scientific publications, including 3 patents.

ORCID: 0000-0001-9398-1968



Маслюкова З.В.
Masliukova Z.

Відомості про автора: працює в Інституті відновлюваної енергетики НАН України, науковий співробітник.

Область наукової діяльності: біогаз, переробка органічних відходів.

Публікації: 55 наукових публікацій, у тому числі 1 патент.

ORCID: 0000-0002-4180-7930

Information about the author: Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, researcher.

Research area: biogas, organic waste utilization.

Publications: 55 scientific publications, including 1 patent.

ORCID: 0000-0002-4180-7930

Перелік використаних позначень та скорочень:

C_{CH_4}	– об'ємна концентрація метану в біогазі, %;	T_{BG}	– температура біогазу за умов навколишнього середовища, К;
C_{CO_2}	– об'ємна концентрація вуглекислого газу в біогазі, %;	P_{BG}	– тиск біогазу за умов навколишнього середовища, кПа;
$V_{BG,н.у}$	– об'єм виробленого біогазу за нормальних умов, $дм^3$;	P_n	– тиск насиченої водяної пари, кПа;
$V_{BG,ф.у}$	– фактичний об'єм виробленого біогазу, $дм^3$;	КОС	– каналізаційні очисні споруди;
T_0	– стандартна температура за нормальних умов, К;	СОР	– суха органічна речовина;
P_0	– стандартний тиск за нормальних умов, кПа;	СР	– суха речовина

Вступ. Каналізаційні очисні споруди (КОС) в Україні, зокрема у м. Львові, збудовано за технологічними схемами, якими не передбачено використання осадів стічних вод. Методами оброблення осадів первинних відстійників є їхнє зневоднення та тривале зберігання на мулових майданчиках. На сьогодні мулові майданчики, наприклад львівських КОС, переповнені, займають площу 22 га, на якій накопичено понад 1,6 млн тонн осадів і щодня на них вивозиться по 3 тис. тонн свіжих осадів [1, 2].

Осади стічних вод чинять негативний вплив на ґрунтові води, відкриті водойми та повітряний басейн. Під час часткового анаеробного розкладу на мулових полях в атмосферу виділяється метан, який є парниковим газом. Поліпшити екологічний стан можна за допомогою переробки свіжих та накопичених осадів. Свіжі осади мають достатній біогазовий потенціал. Натомість висушені осади придатні до термічної конверсії у генераторний газ. Отож, **метою роботи** є експериментальне дослідження можливості переробки каналізаційних осадів за технологіями анаеробного бродіння та газифікації.

Анаеробне бродіння осадів стічних вод. Як показує світовий досвід, ефективним методом переробки свіжих осадів стічних вод є анаеробний метод [2–4].

Матеріали та методи.

Матеріали: свіжі осади стічних вод, зібрані на львівських КОС; як інокулянт було взято зброджену масу після анаеробної переробки коров'ячого гною та зброджену масу з діючої біогазової установки.

Методи. Масова концентрація сухої речовини (СР) визначалася згідно з ДСТУ EN 12048:2005 [5]. Масова концентрація золи у сухому залишку визначалася згідно з ГОСТ 26714-86 [6]. Об'єм виробленого біогазу визначався за допомогою способу витискування еквівалентного об'єму рідини. Об'ємну концентрацію вуглекислого газу в біогазі визначали за допомогою газоаналізатора ГХЛ-1. Об'ємну концентрацію метану в біогазі визначали виходячи з того, що за умов збалансованого та стійкого виділення біогазу справджуються залежності [7]:

$$C_{CH_4} + C_{CO_2} = 95 - 100\% \quad (1)$$

$$\text{або } C_{CH_4} = (97,5 \pm 2,5\%) - C_{CO_2},$$

де C_{CH_4} – об’ємна концентрація метану в біогазі, %; C_{CO_2} – об’ємна концентрація вуглекислого газу в біогазі, %.

Значення масової концентрації сухої органічної речовини (COP) та ступінь деструкції органічної речовини визначали за залежностями, наведеними в роботі [7].

Об’єм виробленого біогазу приведено до нормальних умов для сухого газу за залежністю [8]:

$$V_{BG,н.у} = f_{T,P} f_w V_{BG} = \frac{T_0}{T_{BG}} \frac{P_{BG}}{P_0} \left(1 - \frac{P_n}{P_{BG}} \right), \quad (2)$$

де T_0 , К та P_0 , кПа – стандартна температура та тиск за нормальних умов відповідно; T_{BG} , К та P_{BG} , кПа – температура та тиск біогазу за умов навколишнього середовища відповідно; P_n , кПа – тиск насиченої водяної пари.

Зразок осадів був поділений на дві рівні частини, до кожної з яких відповідно додавали інокуляти А та В різного походження і розбавляли водою, щоб вміст вологи у підготовлених субстратах становив 96%. Як інокулят А було взято зброджену масу після бродіння коров’ячого гною, як інокулят В – зброджену масу з діючої біогазової установки, в якій зброджувалась суміш гнойових та рослинних відходів. Характеристики каналізаційних осадів та інокулятів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вміст СР та COP у мулі та інокуляті
Table 1. TS and VS in the sludge and the inoculums

Компоненти субстратів	СР, %	Зольність СР, %	COP, %
Осади стічних вод	24,65±0,22	36,83±0,3	15,57±0,22
Інокулят А	3,29±0,01	27,27±0,22	2,39±0,02
Інокулят В	1,97±0,01	29,03±0,24	1,4±0,02

Було підготовлено чотири субстрати: дві модельні суміші МС-1 та МС-2 з осадами та інокулятами А і В відповідно, а також два субстрати з інокулятами А і В без додавання осадів (для визначення залишкового біогазового потенціалу інокуляту). Інокуляти А та В було витримано перед початком досліду в анаеробних умовах за мезофільного режиму впродовж 10 днів для мінімізації впливу інокуляту на процес бродіння осадів, перевірки якості інокуляту, його пристосування до нового середовища та умов бродіння.

Було створено експериментальну біогазову установку, схему та принцип дії якої описано в роботі [7]. Кожен реактор мав загальний об’єм 1,5 дм³ з об’ємом субстрату 1,05 дм³. Компоненти модельних субстратів та їхні складові частини було підбрано так, щоб співвідношення між COP мулу та COP інокуляту становило 1:1 згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [8]. За таких умов виключається субстратне інгібування активності метаногенних популяцій.

Згідно з опублікованими даними щодо бродіння каналізаційного мулу за мезофільного режиму зазвичай необхідно від 20 до 30 діб до припинення газоутворення [9]. Згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [8], тест щодо визначення біогазового потенціалу сировини вважається завершеним, якщо добове утворення біогазу не перевищує 1% від кумулятивного виходу біогазу за попередній період бродіння. Зазначимо, що дослід тривав 25 діб за температури 35±0,2°C.

Результати та обговорення. Було визначено два основних параметри:

- ступінь деструкції органічної речовини, що характеризує повноту процесу анаеробного бродіння;
- вихід біогазу, що характеризує процес газоутворення.

Ступінь деструкції COP було визначено на 25-й день бродіння. Ступінь деструкції COP у сумішах МС-1 та МС-2 становить 71±1,5% та 79,8±1,7% відповідно. При цьому було отримано 7,46±0,16 дм³ та 8,38±0,18 дм³ біогазу в сумішах МС-1 та МС-2 відповідно. Середнє значення об’ємної концентрації метану в біогазі становить 62,5±2,5% та 67,1±2,5% в сумішах МС-1 та МС-2 відповідно.

Зазначимо, що питомий вихід біогазу з біологічно розкладеної частини органічної речовини (COP_{б.р.}) у суміші МС-2 становить 834±2,7 мл/г COP_{б.р.}, або метану 542±24,3 мл/г COP_{б.р.}, що узгоджується з опублікованими даними, наведеними в роботах [4, 9].

На рис. 1 наведено залежності питомого та кумулятивного виходу біогазу, а також вмісту метану в біогазі від тривалості бродіння для обох субстратів.

Як бачимо, на початковій стадії процесу для субстрату МС-2 спостерігалось збільшення інтенсивності виходу біогазу порівняно з субстратом МС-1. Це пояснюється різним ступенем адаптації мікробних популяцій до нового субстрату. На 25-й день бродіння для обох субстратів от-

римали однакові показники виходу біогазу, які становлять $0,3 \text{ м}^3/\text{м}^3\cdot\text{добу}$. Органічне навантаження реакторів становило $12,6 \text{ г СОР}/\text{дм}^3$. Отже для каналізаційних осадів з вологістю 96% питомий вихід біогазу становить $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3\cdot\text{добу}$ для 20 діб бродіння за мезофільних температур.

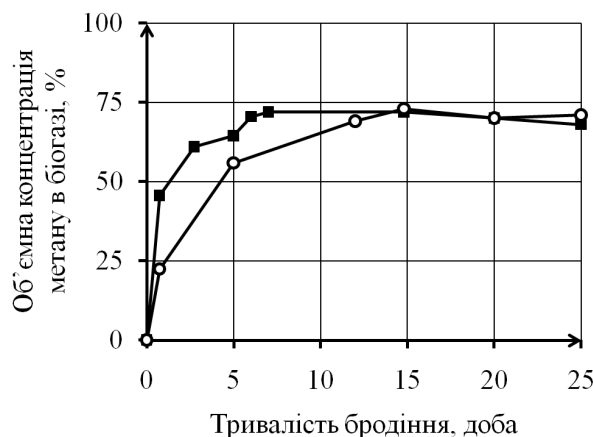
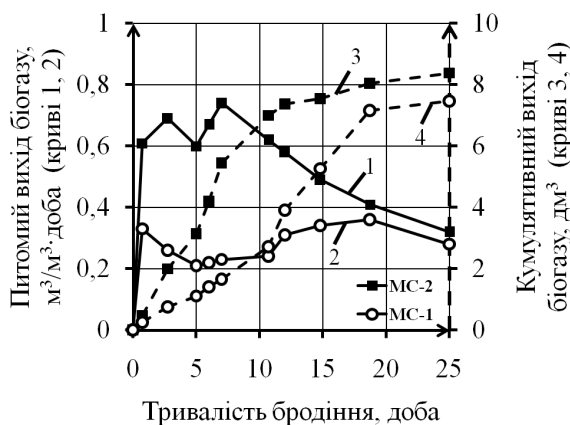


Рис. 1. Вихід біогазу (а) та вміст метану в біогазі (б).

Fig. 1. Yield of biogas (a) and concentration of methane in the biogas (b).

На львівських КОС очищується до 440 тис. м^3 господарсько-побутових та промислових стоків щодня. Хімічний аналіз осадів стічних вод засвідчив підвищений вміст амонійних сполук та важких металів. Це може негативно відобразитись на анаеробній переробці осадів, а також при використанні зброженої маси. Для використання зброженої маси після переробки осадів як добрива треба вилучати важкі метали на стадії їхнього потрапляння у міську каналізацію [1, 3].

Термохімічна переробка осадів стічних вод. Аналіз напрямків використання та утилізації осадів стічних вод свідчить, що лише незначна їх частина використовується як добриво або спалюється. Переважна кількість осадів зберігається на мулових майданчиках. Одним із способів утилізації осадів тривалого зберігання на мулових майданчиках є їхній піроліз. Цей спосіб передбачає попереднє висушування осадів до набуття вмісту вологи в них 5-10%, що потребує значних енергетичних витрат [10].

В Інституті відновлюваної енергетики НАНУ

було розроблено енергоефективну технологію утилізації осадів з мулових майданчиків. Технологія складається з таких етапів:

- виробництво паливних гранул із мулу;
- термохімічна переробка гранул методом часткової газифікації.

На рис. 2 наведено один із варіантів схеми виробництва гранул. Мул автотранспортом подається у приймальний бункер, звідки дозовано надходить на стрічку конвеєра. На конвеєрі з мулу видаляються сторонні предмети (цегла, скло, деревина), а електромагніт видаляє метал. Очищений мул надходить у якрну мішалку, в яку за необхідності додається тирса або подрібнена солома такою кількістю, щоб вміст вологи в суміші становив 60-65%. Далі перемішана маса надходить у шнековий екструдер, звідки виходить у вигляді гранул 10-15 мм. Гранули сітчастим конвеєром транспортуються на піддони для сушіння. Сушіння гранул відбувається відпрацьованим теплоносієм у тунельній багатоярусній сушарці до набуття вмісту вологи в гранулах значення 25-30%.

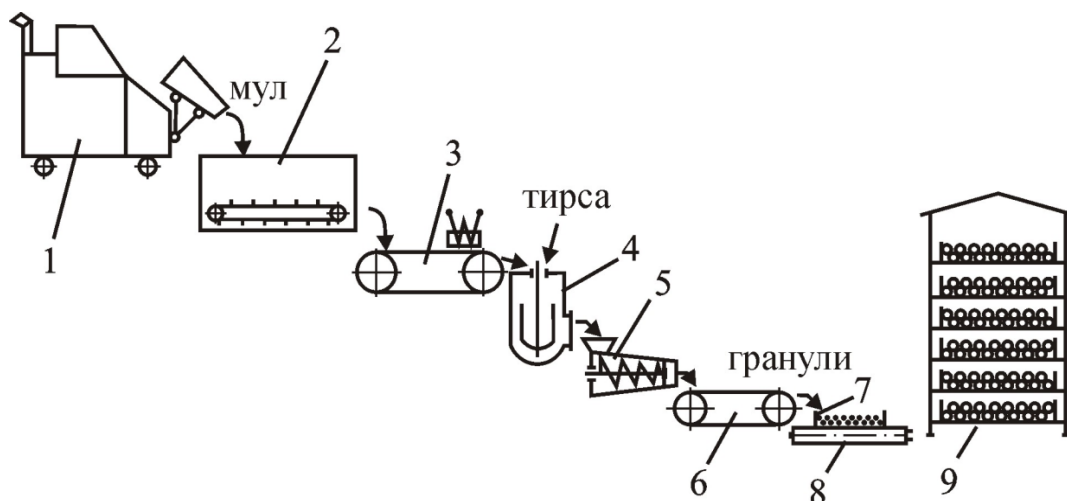


Рис. 2. Технологічна схема виробництва паливних гранул із мулу:

Fig. 2. The technology scheme of fuel granules from the sludge:

1 – автотранспортувач; 2 – приймальний бункер; 3 – стрічковий конвеєр; 4 – якірна мішалка; 5 – шнековий екструдер; 6 – сітчастий конвеєр; 7 – піддон; 8 – роликівий конвеєр; 9 – сушарка.

Метод часткової газифікації біопалива досить повно викладено у роботах [11, 12]. За розробленою технологією було проведено переробку свіжого мулу з львівських КОС. Мул був відібраний у середині грудня 2016 року і мав різкий специфічний запах.

Для виготовлення гранул із мулу в нього додавали тирсу до 5% за масою. Сушіння гранул відбувалося природним шляхом у приміщенні лабораторії за температури 15-18°C. Через чотири доби сушіння вміст вологи у гранулах становив $W_r = 14,6\%$, а зольність CP становила $A_d = 24,18\%$. Таким чином гранули з мулу були підготовлені до газифікації. Температура газифікації становила 570-620°C. Внаслідок часткової газифікації отримали горючий газ, коксовий залишок і конденсат. Вихід горючого газу становив $1,24 \text{ м}^3/\text{кг}$. Склад горючого газу: $\text{H}_2 = 11,56\%$; $\text{N}_2 = 48,71\%$; $\text{CO} = 7,24\%$; $\text{CH}_4 = 5,52\%$; $\text{CO}_2 = 20,55\%$; $\text{C}_2\text{H}_4 = 2,28\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,55\%$; $\text{C}_3\text{H}_6 = 0,88\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,09\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,83\%$; $\text{CH}_5\text{OH} = 0,24\%$; $\text{H}_2\text{O} = 1,55\%$. Теплота згоряння горючого газу становила $6,93 \text{ МДж}/\text{м}^3$; вихід коксозольного залишку становив 35% від сухої маси гранул. Конденсат мав $pH = 9,3$.

Конденсат не містив смоляної плівки, що свідчить про відсутність смоли у горючому газі. Тобто такий газ цілком придатний для спалювання у пальниках котельні або у газопоршневих

машинах для виробництва електроенергії. За необхідності можна провести повну газифікацію мулу до золи і горючого газу, але за вищої температури. На рис. 3 наведено фото зразків гранул із мулу, коксозольного залишку та конденсату.



Рис. 3. Гранули, коксозольний залишок і конденсат з мулу.

Fig. 3. Granules, coke-ash and tar water from the sludge.

В процесі переробки маса мулу зменшується у 6-8 разів. Зола може використовуватись для виробництва будівельних матеріалів. Конденсат містить розчинені органічні сполуки ($X_{CK} = 110,4 \text{ г O}_2/\text{дм}^3$), які необхідно утилізувати в анаеробному реакторі [7].

Висновки. 1. Проведені експериментальні дослідження показали можливість переробки свіжих осадів стічних вод за мікробіологічною і термохімічною технологіями. Так, у біогазовому реакторі за мезофільного режиму ступінь дестру-

кції органічної речовини осадів становить 71-79,8% за час переробки 25 діб. Питомий вихід біогазу становить 0,3 м³/м³·добу з об'ємною концентрацією метану в біогазі 62,5-67,1%.

2. Технологія часткової газифікації гранул із мулу відпрацьована на дослідно-промислових установках ІВЕ НАНУ і може бути впроваджена на станціях очистки стічних вод шляхом створення пілотної установки з подальшим її масштабуванням.

1. Офіційний сайт компанії ЛМКП "Львівводоканал" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lvivvodokanal.com.ua>

2. Кізеєв М.Д., Осадчий В.Ф., Осадчий О.В. Інвестиційний проект реконструкції каналізаційних очисних споруд та будівництва станції виробництва біогазу у м. Львові // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 103–112.

3. Оліферчук В.П., Матвієнко М.Т., Войтович І.Г. Можливість використання осаду стічних вод очисних споруд Львова для виробництва біогазу // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: Національний лісотехнічний університет, 2009. Вип. 19.9. – С. 72–76.

4. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. – К.: Зорг Украина, 2011. – 268 с.

5. Добрива тверді та вапнувальні матеріали. Визначення вмісту вологи гравіметричним методом. Висушування за температури 105±2°C: ДСТУ EN 12048:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 13 с.

6. Удобрения органические. Метод определения золы: ГОСТ 26714–85. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 8 с.

7. Ключ В.П., Четверик Г.О. Сумісне анаеробне бродиння гнойових відходів та конденсату газогенераторної установки // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2017. – №3. – С. 80-86.

8. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. – Lund: Bioprocess control Sweden AB, 2016. – 95 p.

9. Bachmann N. Sustainable biogas production in municipal waste water treatment plant. IEA Bioenergy, 2015. – 20 p.

10. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Безвозюк І.І., Петрук Р.В., Турчик П.М. Природо-охоронні технології. Навчальний посібник. Ч.3.: Методи переробки осадів стічних вод. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 324 с.

11. Ключ С.В., Жовмір М.М., Маслокова З.В., Демчина В.П. Визначення основних показників та ефективності часткової газифікації біомаси в газогенераторі щільного шару з оберненим дугтям // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2016. – №2. – С. 79–87.

12. Ключ С.В. Експериментальні дослідження процесів енерготехнологічного перетворення біомаси в реакторах

щільного шару палива // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2015. – №3. – С. 85–92.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.П. Ключ, канд. техн. Наук, **Г.А. Четверик**,
З.В. Маслокова,

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины,
02094, г. Киев, ул. Гната Хоткевича 20А,
тел./факс +38-044-206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net

Приведены результаты экспериментальных исследований переработки осадков сточных вод путем анаэробного брожения и газификации. Определено степень деструкции органического вещества, выход биогаза и содержание метана в биогазе. Разработано энергоэффективную технологию утилизации осадков с муловых полей, ща которой проведено переработку свежих осадков. Определено теплоту сгорания генераторного газа и выход коксозольного остатка. Библ. 12, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: биогаз, сточные воды, осадки, анаэробное брожение, газификация.

REFERENCES

1. Ofitsiyiny sayt kompaniyi LMKP "Lvivvodokanal" [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.lvivvodokanal.com.ua> (UKR)

2. Kizeev M.D., Osadchiy V.F., Osadchiy O.V. Investitsiyiny proekt rekonstruktsiyi kanalizatsiyinih ochisnih sporud ta budivnitstva stantsiyi virobnitstva biogazu u m. Lvovi // Visnik Natsionalnogo universitetu "Lvivska politehnika". Seriya: Teoriya i praktika budivnitstva. – 2016. – № 844. – S. 103–112. (UKR)

3. Oliferchuk V.P., Matvienko M.T., Voytovich I.G. Mozhlivist vikoristannya osadu stichnih vod ochisnih sporud Lvova dlya virobnitstva biogazu // Naukoviy visnik NLTU Ukrayini. – Lviv: Natsionalniy lisotekhichniy universitet, 2009. Vip. 19.9. – S. 72–76. (UKR)

4. Eder B., Shults H. Biogazovye ustanovki. Prakticheskoe posobie. – K.: Zorg Ukraina, 2011. – 268 s. (RUS)

5. Dobriva tverdi ta vapnuvalni materialy. Vznachennya vmistu vologi gravimetrichnim metodom. Visushuvannya za temperaturi 105±2°C: DSTU EN 12048:2005. – K.: Derzhspozhivstandart Ukrayini, 2006. – 13 s. (UKR)

6. Udobreniya organicheskie. Metod opredeleniya zoly: GOST 26714–85. – M.: Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam, 1987. – 8 s. (RUS)

7. Klius V.P., Chetverik H.O. Sumisne anaerobne brodinnya gnoyovih vidhodiv ta kondensatu gazogeneratornoyi ustanovki // Vidnovlyuvana energetika. – K.: Institut vidnovlyuvanoi energetiki NAN Ukrayini, 2017. – №3. – S. 80–86. (UKR)

8. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. – Lund: Bioprocess control Sweden AB, 2016. – 95 p. (ENG)

9. *Bachmann N.* Sustainable biogas production in municipal waste water treatment plant. IEA Bioenergy, 2015. – 20 p. (ENG)

10. Petruk V.G., Vasilkivskiy I.V., Bezvozyuk I.I., Petruk R.V., Turchik P.M. Prirodo-ohoronni tehnologiyi. Navchalnyi posibnik. Ch.3.: Metodi pererobki osadiv stichnih vod. – Vinnitsya: VNTU, 2013. – 324 s. (UKR)

11. *Klius S.V., Zhovmir M.M., Maslyukova Z.V., Demchina V.P.* Vznachennya osnovnih pokaznikov ta effektivnosti chastkovoyi gazifikatsiyi biomasi v gazogeneratori shchilnogo sharu z obnennim duttyam // Vidnovlyuvana energetika. – K.: Institut vidnovlyuvanoyi energetiki NAN Ukraini, 2016. – №2. – S. 79–87. (UKR)

12. *Klius S.V.* Eksperimentalni doslidzhennya protsesiv energotehnologichnogo peretvorennya biomasi v reaktorah shchilnogo sharu paliva // Vidnovlyuvana energetika. – K.: Institut vidnovlyuvanoyi energetiki NAN Ukraini, 2015. – №3. – S. 85–92. (UKR)

SYNOPSIS

The sewage treatment facilities in Lviv are built according to technological schemes that do not involve the use of sewage sludge. An analysis of the use and disposal of sewage sludge indicates that only a small part of them is used as a fertilizer or burned. The vast majority of sediments are stored on the sludge sites which affects the environment negatively.

The purpose of the work is an experimental study of the possibility of sewage sludge recycling of Lviv sewage treatment plants by technologies of anaerobic fermentation and gasification.

As a result of experiments on anaerobic fermentation of fresh sewage sludge it has been found that they have a sufficient biogas potential. In particular, in a biogas reactor at a mesophilic regime the degree of destruction of organic matter of sediments is in the range from 71 to 79.8% during the processing of 25 days. The specific output of biogas is 0.3 m³/m³·day with a volumetric concentration of methane in biogas of 62.5 to 67.1%.

The energy-efficient technology for the disposal of sediment from sludge sites was developed. It consists of two stages, namely the production of fuel pellets from the sludge and the thermochemical processing of granules by the method of partial gasification. According to the developed technology, fresh sludge was processed from Lviv sewage treatment plants. As a result of partial gasification, the flammable gas, coke residue and condensate were obtained. The output of combustible comprised 1.24 m³/kg. The heat of combustion of combustible gas came to

6.93 MJ/m³. The yield of the coke oven residue accounted for 35% of the dry weight of the granules. The condensate contains dissolved organic compounds, with CHC constituting 110.4 g O₂/dm³.

During the processing, the volume of sludge is from 6 to 8 times decrease. Ash can be used for the production of building materials. The condensate can be disposed of in an anaerobic reactor.

РЕФЕРАТ

Каналізаційні очисні споруди у Львові збудовані за технологічними схемами, які не передбачають використання осадів стічних вод. Аналіз напрямків використання та утилізації каналізаційного мулу свідчить, що лише незначна їх частина використовується як добриво або спалюється. Переважна кількість осадів зберігається на мулових майданчиках, що негативно впливає на оточуюче середовище.

Метою роботи є експериментальне дослідження можливості переробки осадів стічних вод львівських каналізаційних очисних споруд за технологіями анаеробного бродіння та газифікації.

В результаті проведених експериментів з анаеробного бродіння свіжих осадів стічних вод було встановлено, що вони мають достатній біогазовий потенціал. Зокрема, у біогазовому реакторі за мезофільного режиму ступінь деструкції органічної речовини осадів становить 71 – 79,8% за час переробки 25 діб. Питомий вихід біогазу становить 0,3 м³/м³·доба з об'ємною концентрацією метану в біогазі 62,5 – 67,1%.

Було розроблено енергоефективну технологію утилізації осадів з мулових майданчиків, що складається з двох етапів, а саме виробництва паливних гранул з мулу та термохімічної переробки гранул методом часткової газифікації. За розробленою технологією було проведено переробку свіжого мулу з львівських каналізаційних очисних споруд. В результаті часткової газифікації отримали горючий газ, коксовий залишок і конденсат. Вихід горючого газу становив 1,24 м³/кг. Теплота згоряння горючого газу становила 6,93 МДж/м³. Вихід коксозольного залишку становив 35% від сухої маси гранул. Конденсат містить розчинені органічні сполуки, при цьому ХСК становить 110,4 г О₂/дм³.

В процесі переробки маса мулу зменшується у 6-8 разів. Зола може використовуватись для виробництва будівельних матеріалів. Конденсат можна утилізувати в анаеробному реакторі.

Стаття надійшла до редакції 24.06.17

Остаточна версія 21.03.2018