A.N. Dubovets, B.G. Lyah (USSR). – №. 3993361/24-10; appl. 23.12.85; publ. 15.10.88, Bull. № 38.
3. *Kulakov M.V.* Tekhnologicheskyie izmereniia i pribory dlia khimicheskikh proizvodstv (Technological measurements and devices for chemical production / *M.V. Kulakov*. – Moscow: Mashinostroenie, 1983. – 424 p. (in Russian).

Поступила (*Received*) *26.05.15*

УДК 661.152.3: 66.022.5

А.В. ІВАНЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., ДДТУ, Дніпродзержинськ
О.Р. БЄЛЯНСЬКА, здобувач, провідний інженер, ДДТУ, Дніпродзержинськ

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ ТА КОМПЛЕКСНИХ ДОБРИВ З ОСАДІВ МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД

Зроблено аналіз перспектив впровадження технологій отримання біогазу і комплексних добрив з осадів міських стічних вод в Україні та за кордоном. Вперше встановлено вплив попереднього диспергування осадів стічних вод на тривалість процесу анаеробного зброджування. Показано, що диспергування прискорює швидкість виділення біогазу в 2,2 рази. Проведено хімічний аналіз збродженого комплексного добрива на основі відходів міських очисних споруд. Розроблено технологічну схему вузлу одержання біогазу та комплексного добрива з використанням диспергатора і установки анаеробного зброджування.

Ключові слова: активний мул, диспергування, анаеробне зброджування, біогаз, комплексні добрива, міські стічні води.

Вступ. Сьогодні для багатьох міст і населених пунктів дуже гострою є проблема обробки та утилізації осадів, які утворюються при очищенні води. Щорічний приріст біомаси активного мулу складає декілька мільйонів тонн. У зв′язку з цим виникає необхідність в розробці таких способів утилізації, які дозволяють розширити спектр його застосування [1].

Часто осади в необробленому вигляді протягом десятків років зливалися на переобтяжені мулові майданчики, що призводить до порушення екологічної безпеки й умов життя населення. Тільки на території України кількість накопичених осадів перевищує 5 млрд. т, до яких щороку додається ще 3 млн. т нових. Тому назріла нагальна потреба у модернізації наявних способів утилізації осадів стічних вод та пошуку і розробці нових технологій їх переробки, зокрема, на біогаз та комплексні добрива [2 – 4].

Аналіз останніх досліджень. Енергетична криза, яка на разі триває в

© А.В. Іванченко, О.Р. Бєлянська, 2015

Україні, спонукає науковців до пошуку нових джерел енергії. В даний час більшого значення в державі набувають питання економії матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів, охорона навколишнього середовища [3, 4]. У цих умовах розвиток комунального господарства неможливий без освоєння нетрадиційних поновлюваних джерел енергії. Переваги їх в тому, що вони невичерпні та екологічно чисті.

Світовий досвід використання технології анаеробної переробки осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу свідчить про рентабельність і перспективність її впровадження [5]. Такі роботи входять до національних енергетичних програм більшості індустріально розвинених країн та тих, що розвиваються – США, Англії, Франції, Італії, Японії, Австрії, Швеції, Фінляндії, Канади, Індії, Китаю, Бразилії, а також ряду країн Південно-Східної Азії та Африки.

За кількістю енергії 1 $м^3$ біогазу еквівалентний 1,5 кг кам'яного вугілля, 0,6 кг гасу, 2 кВт/год електроенергії, 3,5 кг дрів, 12 кг гнойових брикетів. Варто зазначити, що в масштабах України потенційне виробництво біогазу становить 5,5 млрд.$м^3$, що може покрити близько 10 % загального споживання газу в Україні або 15 % імпорту. Заміщення імпорту природного газу біогазом дозволить знизити витрати держави на 2 млрд. доларів на рік [6].

Паралельно з цим, одним з невирішених питань впровадження біогазових установок в Україні залишається зменшення тривалості їх роботи. На вирішення даного питання і направлені дослідження. Крім того, сучасне сільське господарство вимагає особливої уваги до збереження родючості ґрунту, розроблення систем живлення культур, виробництва нових форм комплексних добрив, коефіцієнт засвоєння поживних речовин (азоту, фосфору і калію) у яких був би максимальним. Адже штучні мінеральні добрива погано засвоюються рослинами, їх внесення негативно впливає на ґрунти. І тому, застосування добрив, які були попередньо зброджені, що і пропонується в даній роботі, вирішать ці проблеми. Виходячи з аналізу наявної ситуації, можна зробити висновок про доцільність і перспективність розробки методів інтенсифікації технології отримання біогазу та комплексних добрив з осадів міських стічних вод.

Формування мети статті. Метою нашої роботи було дослідити та інтенсифікувати процес анаеробного зброджування осадів стічних вод (зокрема, надлишкового активного мулу) з отриманням біогазу та комплексних добрив шляхом їх попереднього диспергування.

Постановка задачі. Визначити вплив процесу попереднього диспергування активного мулу на швидкість його наступного анаеробного бродіння. Виконати хімічний аналіз збродженого комплексного добрива на основі відходів міських очисних споруд. Розробити технологічну схему вузлу одержання біогазу та комплексного добрива з використанням диспергатора і установки анаеробного зброджування.

Викладення основного матеріалу досліджень. Об'єктом досліджень обрано осади стічних вод лівобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська. Методика досліджень полягала у наступному. У біореактор, об'ємом 1,2 дм^3, було завантажено 1 дм^3 попередньо відстояного та диспергованого надлишкового активного мулу вологістю 92 %. Процес диспергування тривав 2 хвилини на частоті обертів ротора 17 с$^{-1}$.

Диспергування – це тонке подрібнення твердих тіл і рідин в довкіллі, що призводить до утворення дисперсних систем: суспензій та емульсій. В технології, що запропонована нами рекомендується виконувати попередню обробку надлишкового активного мулу перед подачею в реактор анаеробного зброджування диспергатором.

Диспергування необхідне для пришвидшення процесу анаеробного зброджування та зменшення його тривалості.

Процес анаеробного зброджування тривав у мезофільному режимі, який є технологічно спрощеним та менш затратним, протягом 24 діб при температурі 33 °С.

Залежність об'єму накопичення біогазу, що виділився від тривалості процесу анаеробного зброджування представлена на рис. 1.

Варто зазначити, що у перерахунку на суху масу у лабораторний реактор завантажувалося 8 г осаду, на виході з установки маса збродженого осаду становила вже 5,44 г (68 %), тобто 2,56 г (32 %) сировини трансформувалось у біогаз. З рис. 1 випливає, що з 2,56 г осаду можна отримати 0,07 дм^3 газу, в перерахунку на 1 кг – 0,31 м^3, 1 т – 310 м^3.

Якщо перевести ці цифри у промислові масштаби, то з однієї очисної станції продуктивністю 18 000 м^3/добу, яка щоденно скидає 3,3 т надлишкового активного мулу (згідно матеріального балансу) реально отримати 327,36 м^3/добу біогазу та 2,244 т/добу добрива. За рік ці показники складуть 119486,4 м^3/рік і 819,06 т/рік відповідно.

Проаналізувавши криві 1 та 2 можна зробити висновок, що попереднє диспергування осадів стічних вод прискорює швидкість виділення біогазу з

10 діб до 22, тобто в 2,2 рази і ці дані можуть дати справжній поштовх до впровадження біогазових установок в Україні.

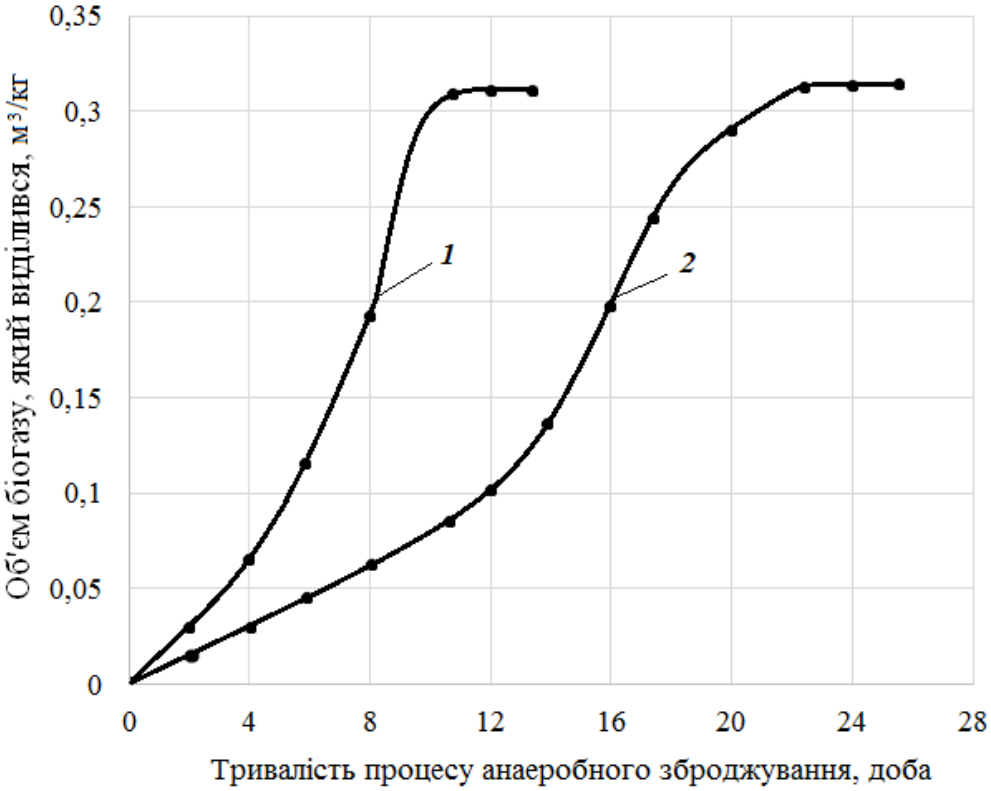

Рис. 1 – Залежність виходу біогазу від тривалості процесу анаеробного зброджування: 1 – при попередньому диспергуванні; 2 – без диспергування.

На рис. 2 показано загальний вид активного мулу, який піддали диспергуванню і без нього.

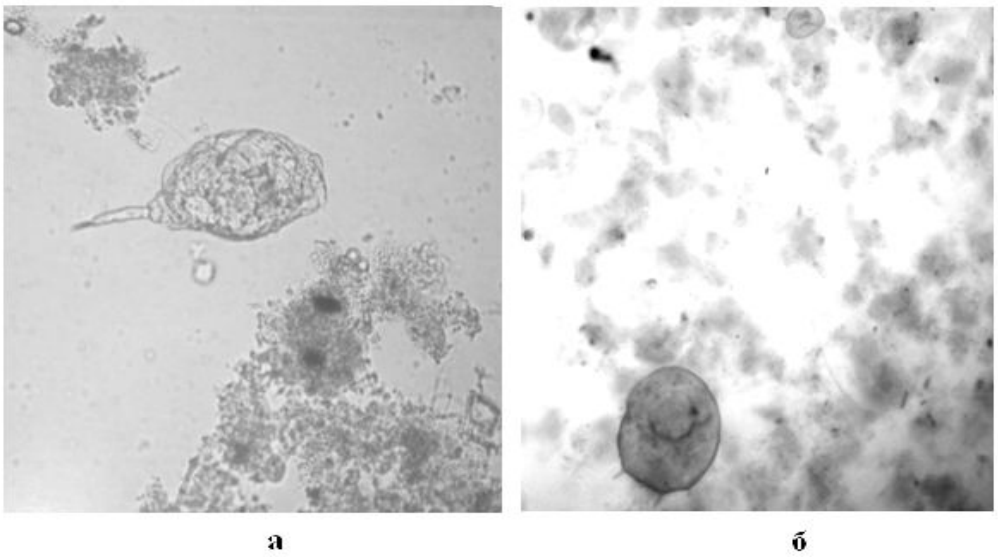

Рис 2. – Загальний вид активного мулу: а – недиспергований; б – диспергований.

На рис. 2 чітко видно, як змінюється структура активного мулу, від стає густішим і процеси в ньому інтенсифікуються.

Зроблено припущення, що в процесі диспергування виділяються ферменти, які служать каталізаторами процесу анаеробного зброджування.

Склад збродженого комплексного добрива на основі осадів міських стічних вод на сухий продукт наступний, %: органіка – 62,8; нітроген загальний (N) – 6,5; фосфор (P_2O_5) – 4,2; калій (K_2O) – 0,4.

І переваги таких добрив в тому, що ці елементи знаходяться у більш доступній для рослин формі і є безпечними для ґрунтів в порівнянні з класичними мінеральними.

Вміст важких металів не перевищує гранично-допустимих норм.

Це пояснюється тим, що на лівобережні очисні споруди міста Дніпродзержинська основним чином подають стоки населення та птахофабрики, промисловий стік, який може бути носієм важких металів, не скидається.

Технологічна схема вузлу одержання біогазу та комплексного добрива з використанням диспергатора і установки анаеробного зброджування в умовах міських очисних споруд представлена на рис. 3.

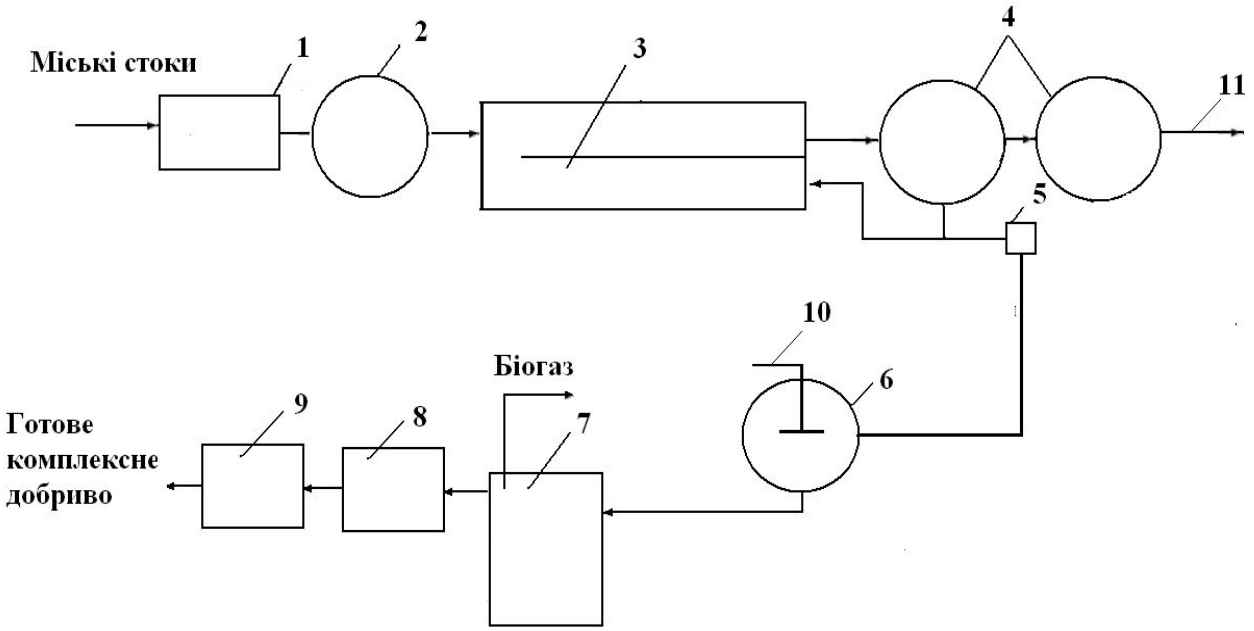

Рис. 3 – Технологічна схема вузлу одержання біогазу та комплексного добрива з використанням диспергатора і установки анаеробного зброджування в умовах міських очисних споруд: 1 – приймальна камера; 2 – первинний відстійник; 3 – аеротенк; 4 – вторинні відстійники; 5 – мулова камера; 6 – мулоущільнювач; 7 – реактор анаеробного зброджування; 8 – центрифуга; 9 – сушарка; 10 – диспергатор; 11 – біологічно очищена стічна вода.

Впровадження установки анаеробного зброджування на міських очисних спорудах призведе до безвідходного режиму роботи очисної станції з отриманням двох цінних продуктів: біогазу та комплексного добрива.

Соціальний ефект проведених досліджень полягає у підвищенні ступеня екологічної безпеки населення Дніпродзержинська, Дніпропетровської області та України в цілому, забезпечення країни новим видом палива та підвищення врожайності сільськогосподарських культур за рахунок внесення універсального добрива, яке добре засвоюється рослинами.

Перспективи подальших досліджень. Вважаємо перспективними напрямки досліджень з впливу зміни технологічних параметрів диспергатора та кількості фрез на його роторі на якість диспергування активного мулу і кінетики виділення біогазу із зброджувальної суміші. Такі дослідження дадуть змогу зменшити енергозатрати на процес диспергування і знизити собівартість готового комплексного добрива.

Висновки.

Зазначена актуальність проблеми інтенсифікації технології отримання біогазу та комплексних добрив з осадів міських стічних вод.

Експериментально показано, що застосовуючи процес диспергування надлишкового активного мулу, можна збільшити швидкість виділення біогазу в 2,2 рази.

Зроблено хімічний аналіз збродженого комплексного добрива на основі відходів міських очисних споруд такого складу, %: органіка – 62,8; нітроген загальний (N) – 6,5; фосфор (P_2O_5) – 4,2; калій (K_2O) – 0,4.

Розроблено технологічну схему вузлу одержання біогазу та комплексного добрива з використанням диспергатора і установки анаеробного зброджування.

На основі експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків показано, що з очисної станції потужністю 18 000 $м^3$/добу, яка щоденно скидає 3,3 т надлишкового активного мулу реально отримати 327,36 $м^3$ біогазу та 2,244 т добрива за добу; за рік ці показники складуть 119486,4 $м^3$ і 819,06 т відповідно.

Робота виконана за підтримки Дніпропетровської обласної державної адміністрації та Державного фонду фундаментальних досліджень (грант Президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених).

Список літератури: **1.** *Шевчук В.Я.* Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини / *В.Я. Шевчук.* – К.: «Фенікс», 2001. – 203 с. **2.** *Salunkhe D.B.* Biogas technology / *D.B. Salunkhe* // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2012. – Vol. 4, №12. – P. 4934 – 4940. **3.** *Скляр О.Г.* Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процеса зброджування / *О.Г. Скляр, Р.В. Скляр* // Праці ТДАТУ. – 2009. – Т. 1, № 9. – С. 20 – 30. **4.** *Козловская С.Б.* Энергосберегающая технология утилизации биогаза метантенков на городских очистных сооружениях канализации / *С.Б. Козловская, Е.Б. Сорокина* // Вестник ОГАСА. – 2005. – № 19. – С. 14 – 18. **5.** *Куфтов А.Ф.* Переработка отходов птицеводства, животноводства и осадков городских сточных вод / *А.Ф. Куфтов, В.А. Девисилов, Ю.В. Котельников* // Экология и промышленность России. – 1998. – 1. – С. 9 – 20. **6.** *Сорокіна К.Б.* Технологія переробки та утилізації осадів: навч. посібник / *К.Б. Сорокіна, С.Б. Козловська.* – Х.: ХНАМГ, 2012. – 226 с.

References: **1.** *Shevchuk V.Ya.* Biotekhnolohiya oderzhannya orhano-mineral'nykh dobryv iz vtorynnoi surovunu (Biotechnology for the production organo-mineral fertilizers from recycled materials) / *V.Ya. Shevchuk.* – Kyiv: «Feniks», 2001. – 203 p. (in Ukrainian). **2.** *Salunkhe D.B.* Biogas technology / *D.B. Salunkhe* // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2012. – Vol. 4, № 12. – P. 4934 – 4940. **3.** *Skliar O.H.* Osnovy biohazovykh tekhnolohij ta parametry optymizatsii protsesa zbrodzhuvannya (The basics biogas technology and optimization fermentation process) / *O.H. Skliar, R.V. Skliar* // Pratsi TDATU – 2009. – Vol. 1, № 9. – P. 20 – 30. (in Ukrainian). **4.** *Kozlovskaya S.B.* Enerhosberehaiuschaya tekhnolohiya utylyzatsii byohaza metantenkov na horodskykh ochystnykh sooruzheniyakh kanalyzatsii (Energysaving technology for utilization biogas digesters at municipal wastewater treatment facilities) / *S.B. Kozlovskaia, E.B. Sorokyna* // Vestnyk OHASA. – 2005. – № 19. – P. 14 – 18. (in Russian). **5**. *Kuftov A.F.* Pererabotka otkhodov ptytsevodstva, zhyvotnovodstva i osadkov horodskykh stochnykh vod (Recycling poultry, livestock and municipal sewage sludge) / *A.F. Kuftov, V.A. Devysylov, Yu.V. Kotel'nykov* // Ekolohyia i promyshlennost' Rossii. – 1998. – 1. – P. 9 – 20. (in Russian). **6.** *Sorokina K.B.* Tekhnolohiya pererobki ta utylizatsii osadiv (Technology for processing and utilization precipitation): navch. posibnyk / *K.B. Sorokina, S.B. Kozlovs'ka.* – Kharkiv: KhNAMH, 2012. – 226 p. (in Ukrainian).

Поступила (*Received*) *18.05.15*