

2. Ефремов, Э.И. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах [Текст]: / Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич и др.; под общ. ред. Э.И.Ефремова; - Днепропетровск: Січ.-1996. - 179 с.
3. Пилове забруднення при експлуатації гранітних кар'єрів [Текст]: матеріали VIII Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів "Сучасні проблеми екології та геотехнологій", 23–25 березня 2011 р. тези доповідей / [Л.А. Сербінова, А.О. Водяник]. – Ж.: ЖДТУ, 2011. – 250 с.
4. Сербінова, Л.А. Нормалізація концентрації пилу в робочих зонах при механічному руйнуванні гірських порід в гранітних кар'єрах [Текст]: дис. канд. тех. Наук / Л.А. Сербінова. – К., 2014. – 154 с.
5. Бруязкий, Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов [Текст] / Е.В. Бруязкий; Институт гидромеханики НАН Украины. – К.: 2000. – 443 с.
6. Шабанова, С.В. Атмосфера промышленного предприятия, методы анализа и очистки [Текст]: метод. указания к лабораторным и практическим занятиям / С.В. Шабанова; – О.: ГОУ ОГУ, 2003.–23с.
7. Кухтов, В.Г. Математическая обработка результатов измерений [Текст]: Методические указания к практическим занятиям / В.Г. Кухтов; Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 60 с.
8. Водяник, А.О. Визначення параметрів забруднення пилом робочих зон при подрібненні гранітної маси дробарками [Текст]:/ А.О. Водяник, Л.А. Сербінова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ» ПрАТ «Техновібух», 2012 – Вип. 22. – С. 196.
9. Мышкин, А.Д. Элементы теории математических моделей [Текст] / А.О. Мышкин;– М.: Комкнига, 2007. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2016 р.

УДК 628.35: 628.336.5:628.336.6

В.Д. Воробйов, докт. техн. наук, проф., **А.О. Дичко**, канд. техн. наук, доц.,
І.О. Ополінський, асп., **К. В. Пестова**, студ. (НТУУ «КПІ»)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОЛЮТАНТІВ СТИЧНИХ ВОД У БІОГАЗ

V.D. Vorobiov, A.O. Dychko, I.O. Opolinskyi, K.V. Pestova (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

IMPROVING OF EFFICIENCY OF BIOTRANSFORMATION OF ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS POLLUTANTS OF WASTEWATER INTO BIOGAS

Досліджено процес анаеробного очищення стічних вод із використанням деструкції активного мулу та її вплив на біотрансформацію поллютантів у біогаз. Встановлено залежності утворення біогазу від обробки мікроорганізмів механічною, термічною, хімічною деструкцією та від впливу ультразвуку на мул. Удосконалено технологію біохімічного очищення стічних вод із включенням до схеми вузлу деструкції біомаси та розроблено рекомендації із застосування методів інтенсифікації процесу метаногенезу.

Ключові слова: *стічні води; анаеробне очищення; біогаз; деструкція біомаси; пероксид гідрогену; технологія.*

Исследован процесс анаэробной очистки сточных вод с использованием деструкции активного ила и ее влияние на биотрансформацию поллютантов в биогаз. Установлены зависимости образования биогаза от обработки микроорганизмов механической, термической, химической деструкцией и от воздействия ультразвука на ил. Усовершенствована технология биохимической очистки сточных вод с включением в схему узла деструкции биомассы и разработаны рекомендации по применению методов интенсификации процесса метаногенеза.

Ключевые слова: *сточные воды; анаэробная очистка; биогаз; деструкция биомассы; пероксид водорода; технология.*

The process of anaerobic wastewater treatment using active sludge destruction and its impact on the biotransformation of pollutants into biogas is researched. The dependences of the formation of biogas from the processing of microorganisms with mechanical, thermal, chemical destruction and with the effects of ultrasound on sludge is established. It is improved the technology of biochemical wastewater treatment with the inclusion of biomass destruction node into scheme and recommendations on the application of process of methanogenesis intensification are developed.

Keywords: *wastewater; anaerobic treatment; biogas; biomass destruction; hydrogen peroxide; technology.*

Актуальність роботи. Існуючі споруди з очищення стічних вод характеризуються недостатньою ефективністю очищення через збільшення кількості і концентрацій забруднюючих речовин; утворенням значних об'ємів осадів; витратою великої кількості енергії та коштів при експлуатації; значними витратами часу на очищення; забудовою великих територій під споруди тощо.

Найбільш розповсюдженими методами очищення комунально-побутових стічних вод є біохімічні, які дозволяють не тільки зменшити концентрацію забруднюючих речовин у стоках, а й здійснити біотрансформацію органічних речовин у мінеральні, знижуючи таким чином антропогенний тиск на довкілля.

Дослідження процесів інтенсифікації життєдіяльності активного мулу з метою підвищення якості біохімічного очищення стічних вод проводились вітчизняними (Квартенко О. М. (магнітна обробка стоків), Ткачука Н. Г. (дослідження впливу ультразвуку)) та закордонними (Ахмадуллої Ф. Ю. (вплив ультразвуку), Мещерякової Ю. С. (електростимуляція життєдіяльності активного мулу), Adam Lavern L. (вплив магнітного поля), Wilderer Peter A. (використання активованого вугілля), Legeron J. P. (погружне нерухоме завантаження у біофільтрах), Lebrun Thierry (вплив озону) та ін.) вченими [1-4].

Проте, практично недослідженими є методи застосування дезінтегрованого активного мулу в анаеробних умовах. Тому вирішення питань підвищення ефективності анаеробного очищення стічних вод та збільшення виходу утворення біогазу при цьому є актуальною науково-практичною задачею.

Мета дослідження є визначення впливу деструкції біомаси на якість очищення стічних вод та біотрансформацію екологічно небезпечних поллютантів у біогаз, а також удосконалення існуючої технології обробки стоків.

Результати досліджень. Основними способами управління біохімічним очищенням стічних вод є інтенсифікація процесу шляхом регулювання значень основних параметрів; попередньої підготовки чи обробки стоків; конструкційних змін у біореакторах; використання коагулянтів, флокулянтів, сорбентів та інших активуючих речовин; впливу на мікроорганізми активного мулу магнітного, електричного полів та ультразвуку; хімічний мутагенез та ін. Інтенсифікація біохімічного очищення сприяє більш ефективному видаленню органічних речовин, розширенню спектру забруднень, що видаляються, покращенню седиментаційних властивостей активного мулу та зменшенню його надлишку. Окрім екологічних переваг, вищезгадані методи мають і економічні, що полягають в зниженні капітальних витрат на будівництво очисних споруд та зменшенні площ, які займають споруди, скороченні витрат електроенергії, збільшенні окислювальної потужності існуючих реакторів без значних витрат на їх реконструкцію, зменшенні часу на очищення, істотному підвищенні надійності та стабільності очищення при залпових надходженнях забруднень, відсутності потреби в доочищенні [5].

Сутність методів інтенсифікації біохімічного очищення шляхом впливу на активний мул полягає в тому, що частина біомаси піддається деструкції, при цьому зменшується її приріст, а також істотно зростає інтенсивність процесів за рахунок того, що із зруйнованих клітин вивільняються ферменти, вітаміни, білки, полісахариди та інші біологічно активні речовини, що сприяють стимулюванню процесів життєдіяльності активного мулу і, таким чином, процесів біорозкладання складних органічних поллютантів високої концентрації, що присутні в стічних водах. В результаті запровадження деструкції клітин біомаси зі стічних вод більш інтенсивно видаляються домішки біологічного походження, гумусові речовини, молекулярні органічні речовини, фосфати та ін. Крім того, під впливом пероксиду гідрогену швидкість переважної більшості окисно-відновних хімічних реакцій зростає, а це призводить до інтенсифікації біохімічного очищення стічних вод.

При дослідженні методів деструкції активного мулу в анаеробних умовах максимальної ефективності очистки (99%) було досягнуто при додаванні в метантенк частини обробленого пероксидом гідрогену активного мулу (рис. 1). Значний ступінь очищення за хімічним споживанням кисню (ХСК) спостерігався у контролі та при використанні механічної дезінтеграції (до 93%). При руйнуванні частини біомаси активного мулу методом термолізу відмічено

досить високий показник очищення (до 85%), однак менший в порівнянні з іншими методами.

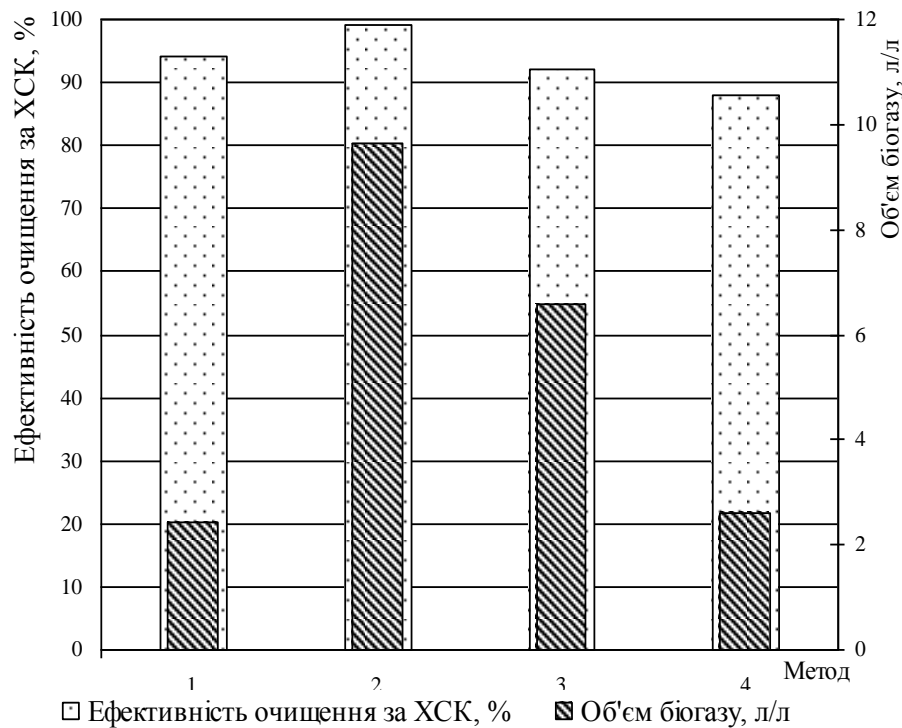


Рис. 1. Ефективність очищення та виділення біогазу під час інтенсифікації процесу в анаеробних умовах:

1 – контрольні стоки; стоки із застосуванням: 2 – хімічної дезінтеграції; 3 – механічної дезінтеграції; 4 – термолізу

Найбільш інтенсивно виділення біогазу відбувалося при механічній та хімічній деструкції частини біомаси – до 7 і 10 л/л (л біогазу / л стічних вод) відповідно (див. рис. 1).

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити залежності утворення біогазу від типу деструкції біомаси. Так, при механічній деструкції активного мулу з метантенку та подальшому його використанні в процесі анаеробного очищення стічних вод отримана наступна закономірність об'єму утворення біогазу (V) від зниження вмісту органічних сполук ΔQ (спожитого хімічного споживання кисню) в стоках:

$$V = 0,0003\Delta Q^3 - 0,1524\Delta Q^2 + 14,908\Delta Q - 252,18,$$

$$R^2 = 0,9742,$$

де R – коефіцієнт детермінації.

Анаеробне біохімічне очищення стічних вод із використанням частини активного мулу, підданого термолізу, з біотрансформацією поллютантів стічних

вод у біогаз описується наступним рівнянням:

$$V = -0,0003\Delta Q^3 + 0,0808\Delta Q^2 - 6,6041\Delta Q + 194,03,$$

$$R^2 = 0,9737.$$

При використанні ультразвуку для впливу на мікроорганізми активного мулу встановлена закономірність, що описується наступним рівнянням:

$$dV(x, y) = K_T(-35,35 + 5,05x - 0,81y - 0,17x^2 + 0,043y^2 + 1,95 \cdot 10^{-3}x^3 - 0,78 \cdot 10^{-3}y^3),$$

$$K_T = 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,89$$

де x – час метанового бродіння стічних вод, діб, y – частота обробки мулу, кГц; K_T – температурний коефіцієнт; T – температура бродіння.

Максимальний вихід біогазу спостерігався при хімічній деструкції активного мулу, що відображає встановлена залежність:

$$V = -0,0246\Delta Q^3 + 3,8787\Delta Q^2 - 191,35\Delta Q + 3107,4,$$

$$R^2 = 0,9973.$$

На основі проведених досліджень обґрунтована і розроблена технологічна схема обробки стічних вод для інтенсифікації процесу очистки, яка відрізняється від існуючої тим, що в схему біохімічного очищення включений процес регенерації активного мулу. Причому біомаса мулу обробляється методом фізико-хімічної деструкції. Розроблена технологія інтенсифікації біотрансформації поллютантів при біохімічному очищенні стічних вод включає вузол деструкції активного мулу, а саме - фізико-хімічну дезінтеграцію біомаси після 1-ї стадії метанового бродіння з направленням її на 2-у стадію, що дозволить покращити якість очищених стоків, отримати додаткове джерело енергії – біогаз із підвищеним вмістом метану, а також підвищити екологічну безпеку природних водойм та довкілля в цілому [6, 7].

Удосконалена схема [7] анаеробної біотрансформації поллютантів у біогаз із застосуванням дезінтегрованого активного мулу представлена на рис.2. Метанове бродіння починається в реакторі $P8$, з якого надлишковий активний мул направляється частково на вузол активації $P10$, а частково – у другий метантенк $P12$. Обробка мулу здійснюється хімічною дезінтеграцією. Надлишковий активний мул, що видаляють з метантенку, оброблюють пероксидом гідрогену у співвідношенні окисник/мул – 1/100, після чого гомогенізатор подають у метантенк у кількості 15% від загального об'єму мулу в споруді. Гомогенізатор змішують з активним мулом метантенку, що сприяє підвищенню метаногенезу і ступеня очищення стічних вод. Газгольдер $IT14$ призначений для збирання утвореного біогазу з наступним відведенням до

когенераційної установки.

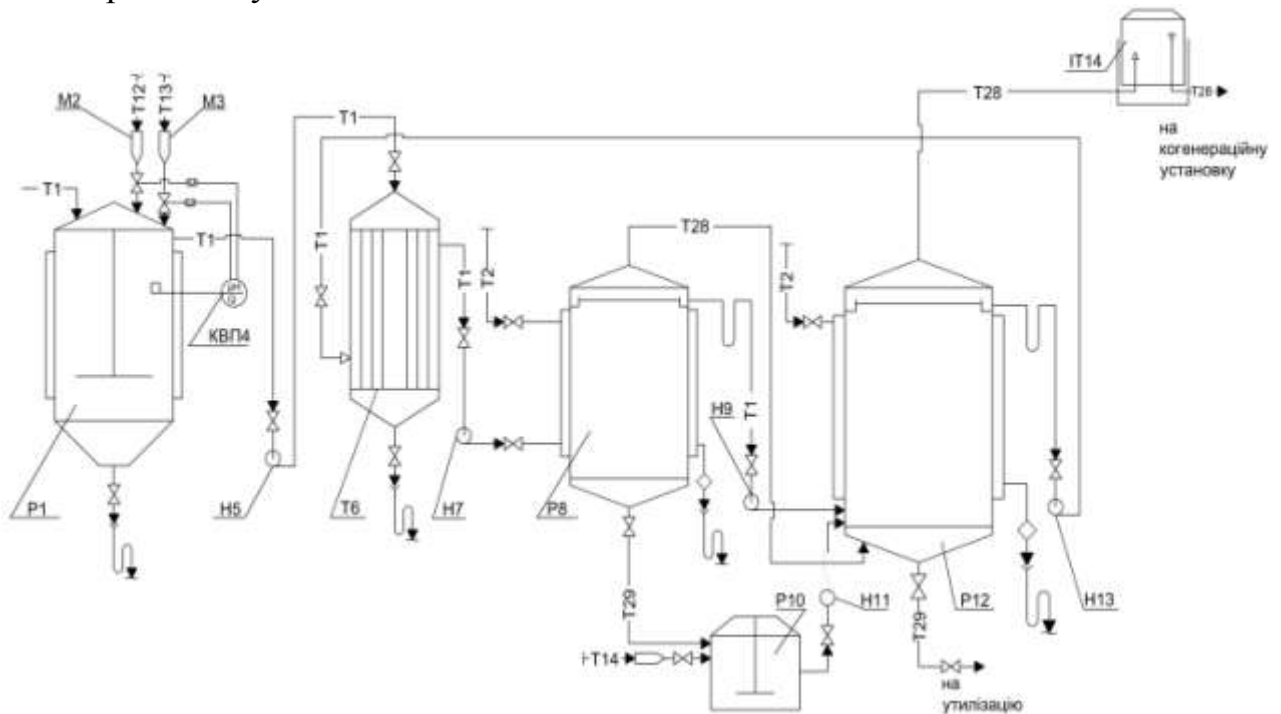


Рис. 2. Технологічна схема анаеробного очищення стічних вод:

T1 – вода; *T2* – пара; *T12* – кислота; *T13* – луг; *T14* – пероксид гідрогену; *T28* – біогаз; *T29* – активний мул; *P1* – збірник-нейтралізатор; *M2* – вимірник кислоти; *M3* – вимірник лугу; *КВП-4* – компенсаційний рН-метр; *H5*, *H7*, *H9*, *H11*, *H13* – відцентрові насоси; *T6* – теплообмінник; *P8*, *P12* – метантенки; *P10* - вузол активації; *IT14* - газгольдер

За двохступеневою схемою метанового бродіння із надходженням біогазу з першого до другого метантенку відбувається підвищення вмісту метану за рахунок активації процесу, а також розчинення у стоках вуглекислого газу, що міститься в біогазі.

Розрахований економічний ефект від впровадження технології із застосуванням деструкції активного мулу в процесі біохімічного очищення стічних вод - 45,9 млн. грн., що більше за традиційні анаеробні технології в 10-17 разів, що пов'язано із збільшенням виходу біогазу та підвищенням вмісту метану в ньому. Термін окупності розробленої технології менший вдвічі порівняно з існуючими і становить 7-9 місяців.

Висновки

1. Деструкція мікроорганізмів активного мулу сприяє підвищенню ефективності анаеробного очищення стічних вод та біотрансформації поллютантів у біогаз.

2. Встановлено, що найбільш інтенсивно утворення біогазу відбувається при механічній та хімічній деструкції частини біомаси – до 7 і 10 л/л (л біогазу / л стічних вод) відповідно.

3. Визначені закономірності отримання біогазу дозволяють спрогнозувати кількість його утворення залежно від вмісту забруднюючих речовин у стоках та зміни їх концентрації під час метанового бродіння.

4. Технологія інтенсифікації біотрансформації поліутантів стічних вод у біогаз із підвищеним метаноутворенням включає фізико-хімічну дезінтеграцію активного мулу після 1-ї стадії метанового бродіння з направленням його на 2 стадію, що дозволяє досягти техніко-економічного ефекту.

Список використаних джерел

1. Ткачук, Н. Г. Влияние электрического тока на рост и ферментативную активность микроорганизмов активного ила [Текст] / Н.Г. Ткачук // Электронная обработка материалов. – 1978. – № 4. – С.78 – 79.

2. Ультразвук как способ интенсификации биокатализа в процессах водоочистки [Текст] / Р. А. Закиров, Е. В. Сельмертова, Ф. Ю. Ахмадуллина, А. З. Асадуллин // Материалы и нанотехнологии: матер. конф., Казань, 21-26 сентября 2003 г.: тезисы докл. – Казань: Центр опер. печати, 2003. – С. 151.

3. Фомичев, В. Т. Увеличение мощности биологической очистки в аэротенках за счет электростимуляции жизнедеятельности активного ила [Текст] / В. Т. Фомичев, Ю. С. Мещерякова, Ю. Ф. Полковников // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: матер. междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 18-20 мая 1999 г. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСА, 1999. – С. 168 – 171.

4. Kolb, Frank R. Activated carbon sequencing batch biofilm reactor to treat industrial wastewater [Text]/ Kolb Frank R., Wilderer Peter A. // Water Sci. and Technol. – 1997. – 35, №1. – С. 169 – 176.

5. Садова, Ю. М. Отримання біогазу шляхом інтенсифікації біологічно очищення стічних вод від екологічно небезпечних забруднювачів [Текст]/ Ю. М. Садова, А. О. Дичко. // Вісник КрНУ ім.Михайла Остроградського. – 2012. – №1. – С. 174–177.

6. Пат. 100151 Україна, МПК (2006.01) C02F 11/04. Спосіб інтенсифікації процесу біотрансформації органічних забруднень стічних вод у біогаз [Текст]/ К. К. Ткачук, А. О. Дичко, І. О. Ополінський. – № u201500905; заявл. 05.02.2015; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. – 2 с.

7. Дичко, А.О. Інтенсифікація процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз [Текст]/ А.О. Дичко, Л.І. Євтеєва, І.О. Ополінський // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 22 (1). – С. 193-198.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2016 р.