

УДК 620.92:662.767.2:628.336.098.4

Дичко Аліна Олегівна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології, ORCID: 0000-0003-4632-3203
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Євтєєва Любов Іванівна

Асистент кафедри інженерної екології, ORCID: 0000-0002-6190-7074
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Ополінський Ігор Олегович

Магістрант кафедри інженерної екології
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ
БІОМАСИ У БІОГАЗ**

***Анотація.** Розглянуто методи підвищення ефективності метаноутворення при анаеробному зброджуванні біомаси. Представлена концепція двостадійного збродження біомаси з частковою її обробкою. Визначено, що при застосуванні механічної та хімічної дезінтеграції вихід біогазу перевищує значення контролю у 2,6 та 4 рази відповідно з одночасним збільшенням вмісту метану в отриманому біогазі.*

***Ключові слова:** інтенсифікація, біогаз, деструкція, зброджений субстрат, біомаса*

Постановка проблеми

За останні роки екологічна проблема набула значення однієї з головних серед багатьох проблем сучасності. Однією з найважливіших соціальних задач всепланетного масштабу є збереження і поліпшення навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку. Проте, на жаль, екологічна ситуація в Україні продовжує загострюватися. Від цієї проблеми, звичайно, не можна абстрагуватися та розглядати окремо від інших задач сучасності.

Водночас особливо актуальним сьогодні є питання енергетичного суверенітету України. Залежність України від імпортованих енергоносіїв складає до 40% [1], така ситуація виводить країну за межі нормальних економічних ризиків існування. Тому політика держави має бути спрямована на підвищення енергоефективності та зменшення використання енергії, що має стати пріоритетним напрямком в енергетичній стратегії України.

Основними шляхами забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку держави є економія споживання електричної і теплової енергії, утилізація відходів, збагачення палива і вдосконалення процесів його спалювання, впровадження високоефективного пило- та газоочисного обладнання, розробка економічних важелів екологізації енергетики та підвищення рівня використання альтернативних джерел енергії.

Стійкий розвиток включає використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії,

яке не призводить до виснаження природно-ресурсного потенціалу країни.

Використовуючи альтернативні джерела енергії, такі як: вітер, сонячне випромінювання, моря, річки, біомаса, вторинні енергетичні ресурси, можна зменшити використання традиційних джерел енергії та знизити техногенний вплив на довкілля.

Одним з перспективних шляхів вирішення проблеми виходу з енергетичної кризи є залучення до паливно-енергетичного балансу України відновлювальних джерел енергії, зокрема біотрансформації відходів у біогаз.

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

Незважаючи на те, що в Україні останнім часом реалізуються все більше проєктів з альтернативної енергетики, загальна частина використання відновлювальних джерел енергії досі не перевищує 1,5% [2]. Потенціал біоенергетики становить 60% відновлювальних джерел енергії в Україні [3]. Найбільшими запасами біомаси в Україні є: солома, гній, вторинні відходи та деревина. На рис. 1 наведено гістограму енергетичного потенціалу запасів біомаси в Україні [3].

Під теоретичним енергетичним потенціалом розуміється кількість біомаси, яка утворюється на території України, а технічним потенціалом – біомаса, яку можна використати, враховуючи технічні можливості та економічну доцільність. З рис. 1 видно, що найбільший енергетичний потенціал мають енергетичні рослини, що

виросуються з метою отримання енергії. Також, незважаючи на порівняно низькі значення потенціалу відходів сільського господарства, необхідність їх утилізації робить використання даного виду біомаси доцільним. Потенціальні запаси біомаси для отримання біогазу в Україні займають середню позицію, проте, як показує досвід інших країн, така позиція може збільшитися у разі із удосконаленням технологій його отримання, а також розширенням спектру відходів, що утилізуються.

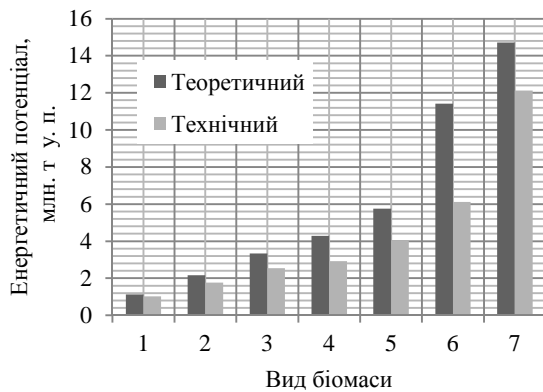


Рисунок 1 – Потенціальні запаси біомаси в Україні:

- 1 – вторинні відходи сільського господарства; 2 – деревна біомаса; 3 – біогаз; 4 – відходи виробництва соняшників; 5 – вторинні відходи сільського господарства; 6 – солома; 7 – енергетичні рослини

Біогазові технології зі збродженням відходів у сучасних анаеробних реакторах дозволяють вирішити відразу кілька проблем: зменшити викиди парникових газів та кількість відходів, знизити споживання покупного газу (за рахунок використання на підприємстві біогазу, що утворюється).

У результаті життєдіяльності біоценозу метантенка відбувається зниження концентрації органічних речовин у рідких відходах і утворення біогазу, що є екологічно чистим паливом. Для отримання біогазу можуть використовуватися стічні води міст, стоки та відходи переробних підприємств, побутові відходи, відходи сільського господарства тощо.

Перевагами анаеробного методу утилізації відходів є низька енерговитратність, висока продуктивність, одержання метану як енергоносія, утворення невеликої кількості зброженого осаду, що може бути використаний у якості добрива, невеликі площі для споруд.

Недоліками сучасних технологій біоенергетичної утилізації відходів у метантенках є: неефективний процес біотрансформації відходів у біогаз, недостатньо високий рівень метану у біогазі, велика тривалість бродіння, зниження виходу біогазу при лімітуванні біогенних елементів у субстраті.

У практиці роботи метантенків інтенсифікація процесів збродження здійснюється підігріванням і перемішуванням завантаженого субстрату зі зрілим збродженим субстратом [11]. Безперервне завантаження-розвантаження попередньо підігрітих осадів дає можливість стабілізувати швидкість анаеробного розкладання органічної складової осаду, що зброджується, і забезпечує рівномірне утворення біогазу.

Перемішування осаду в резервуарах метантенків з оптимальною інтенсивністю забезпечує ефективне використання всього об'єму резервуару, виключає утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля та покращенню газоутворення [12].

Термофільне бродіння відходів також сприяє інтенсифікації технологічного процесу. При цьому збільшується завантаження метантенка, а відповідно і вихід кінцевого продукту (до 2-х разів) [4; 5].

Результати досліджень [6] підтверджують можливість підвищення ефективності процесу метанового бродіння шляхом підвищення концентрації мікроорганізмів у метантенку. Це дозволяє зменшити час метанового бродіння до 12 год у порівнянні з 48–60 год у традиційному режимі при концентрації відходів в межах 34–36 г/л по сирій біомасі [6].

Вважається, що з наявних форм резервуарів метантенків найкращою є циліндрова з конічними переkritтями і днищем форми, яка має максимальний об'єм при мінімальній площі поверхні, що дозволяє скоротити матеріаломісткість при будівництві і тепловтрати при експлуатації.

Для підтримання потрібної концентрації анаеробних мікроорганізмів в об'ємі осадів, що зброджуються, застосовується рециркуляція. Частина зброджених осадів, що випускається зі споруди, потрапляє в завантажувальний бункер метантенків. Оптимальним рекомендується коефіцієнт рециркуляції – 1,35 [7].

Для оптимального управління процесом бродіння слід здійснювати контроль таких параметрів: температури; *pH* біомаси; об'єму біомаси; вмісту органічної речовини в біомасі; дози завантаження-вивантаження біомаси; об'єму біогазу [8; 9; 10].

Основними способами інтенсифікації технології біоенергетичної утилізації відходів є: підвищення температури збродження і інтенсивності перемішування осаду в метантенку, перехід на його безперервне завантаження і вивантаження, двох- і багатоступінчасте збродження, за якого друга і наступні ступені використовуються для відділення надлишкової води і зменшення обсягу зброженого осаду, підвищення концентрації відходів і біомаси

мікроорганізмів у метантенку, а також технології попередньої механічної, хімічної та термічної обробки субстрату [11].

Інтенсифікація біоенергетичної утилізації відходів приводить не лише до збільшення виходу біогазу, але й до значного зменшення площі, що займають ці споруди. Такі процеси вимагають продуктивного управління складними системами метанового бродіння та постійного моніторингу їх функціонування [13, 14].

Мета статті

Метою роботи є ефективне управління біотрансформацією відходів у біогаз та підвищення вмісту метану в ньому. Задачею дослідження є встановлення впливу процесів хімічної та механічної деструкції зброженої біомаси на ефективність метаногенезу.

Встановлення впливу дезінтеграції біомаси на процес утворення біогазу

Основний принцип методики визначення впливу дезінтеграції субстрату на процес метанового збродження полягає у визначенні динаміки утворення біогазу при використанні дезінтегрованого зброженого осаду. Критерієм оцінки процесу виступає зміна кількості утвореного біогазу в порівнянні з контролем.

В експериментальних дослідженнях анаеробного процесу збродження відходів обробка частини осаду відбувалась за такими методами:

- застосування механічного дезінтегратора;
- використання термолізу;
- обробка перексидом водню.

Для проведення досліджень була розроблена та змонтована лабораторна установка (рис. 2).

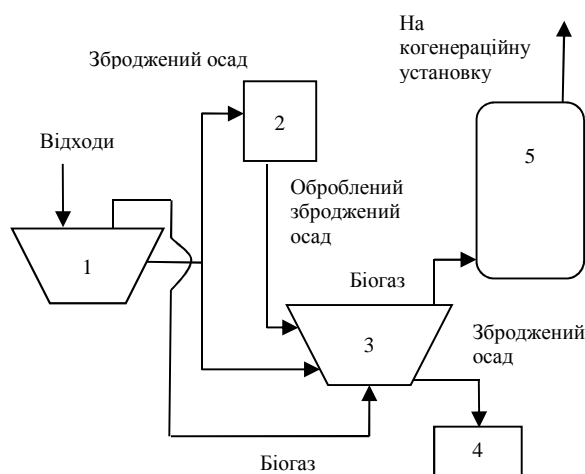


Рисунок 2 – Схема утилізації відходів з отриманням теплової та електричної енергії: 1 – реактор; 2 – вузол активації; 3 – доосаджувальний реактор; 4 – осадоприймач; 5 – газгольдер

Метанове бродіння починається в реакторі 1, з якого зброжений осад направляється частково (15% від загального об'єму) на вузол активації 2, а частково – у доосаджувальний реактор 3. Оброблення осаду здійснюється механічною (термічною або хімічною) дезінтеграцією. Газгольдер 5 призначений для збирання утвореного біогазу з наступним відведенням до когенераційної установки. Осадоприймач 4 слугує для складування осаду з подальшою його утилізацією.

При хімічній дезінтеграції зброженої біомаси оброблений перексидом водню зброжений субстрат додавали в доосаджувальний реактор відразу після обробки.

При механічній дезінтеграції зброжену біомасу обробляли у центрифугі ОПН-3, після чого додавали в доосаджувальний реактор. Центрифугування біомаси продовжувалося впродовж 1 хв після набирання нею максимальної кількості обертів.

Термоліз субстрату проводили за температури +90°C. Нагрівання зброженого субстрату до 90°C продовжувалося 10 хв. Після чого впродовж 1 хв біомасу підтримували за сталої температури.

Результати досліджень представлені в таблиці.

Таблиця – Інтенсивність виділення біогазу при попередній обробці відходів

Час, доба	Вихід біогазу залежно від способу деструкції відходів, л/л			
	без деструкції (контроль)	термічний	механічний	хімічний
1	0,42	0,59	0,72	0,52
2	0,49	0,63	1,44	2,79
3	0,52	0,44	1,41	3,24
4	0,35	0,32	1,15	1,19
5	0,31	0,32	0,79	0,93
6	0,29	0,22	0,58	0,82
Σ	2,38	2,52	6,09	9,49

На основі даних таблиці побудована гістограма, що зображена на рис. 3. В ході експериментів було виявлено, що найбільше виділення біогазу відбувалось на 2 і 3 добу експерименту. Максимальну кількість біогазу було отримано при використанні хімічно та механічно дезінтегрованого зброженого субстрату. Так, кількість утвореного біогазу збільшилась при механічній обробці в 2,6 рази, а при хімічній – майже у 4 рази.

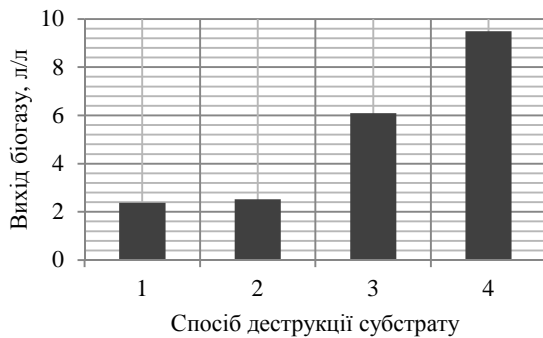


Рисунок 3 – Розподіл ефективності виходу біогазу в ході процесу інтенсифікації в анаеробних умовах:

- 1 – контроль (без деструкції); з використанням:
2 – термолізу; 3 – механічної дезінтеграції;
4 – хімічної обробки

Таким чином, при використанні хімічного та механічного методів дезінтеграції зброженого субстрату відбулося максимальне вивільнення біологічно активних речовин із зруйнованих клітин, що інтенсифікувало процеси бродіння у біореакторах. При хімічній деструкції кількість біогазу становила до $0,01 \text{ м}^3/\text{кг}$ біомаси. За перші чотири доби виділення біогазу склало майже 80% від загального отриманого об'єму.

Термолізна обробка зброженої біомаси не виявила значного підвищення метаноутворення порівняно з контролем, що вказує на неефективність методу.

Також в ході експерименту відбувався контроль за складом біогазу, що виділявся. У порівнянні з контролем досліджувані зразки показували збільшення вмісту метану до 70–80%, що перевищує значення контролю на 15–20%. В результаті теплотворна здатність такого біогазу збільшується з 20 до $25 \text{ МДж}/\text{м}^3$.

Висновки

1. Метанове бродіння біомаси вирішує проблему утилізації відходів, а також є альтернативним джерелом енергії. Серед методів підвищення ефективності метаноутворення перспективною є дезінтеграція зброженої біомаси механічною та хімічною обробкою.

2. Експериментально встановлено, що в результаті підтримання оптимальної концентрації субстрату і застосування хімічної та механічної дезінтеграції біомаси досягається максимальна кількість утворення біогазу. При застосуванні хімічної дезінтеграції вихід біогазу становить 9,6 л/л, а при механічній – 6,6 л/л, перевищуючи значення контролю у 4 та 2,6 рази відповідно.

3. Встановлені залежності значення утворення біогазу в анаеробних умовах при деструктивних методах дозволяє прогнозувати вихід біогазу залежно від періоду збродження.

4. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення залежності інтенсивності утворення біогазу від типу субстрату та створення математичної моделі процесу метаногенезу.

Список літератури

1. *Energy Policies beyond IEA Countries – Ukraine 2012* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://iea.org/publications/freepublications/publication/UKR_Summaryplus.pdf](http://www/ URL: http://iea.org/publications/freepublications/publication/UKR_Summaryplus.pdf) – 2012 – Загол. з екрану.
2. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року, Розпорядження КМ від 15.03.2006 № 145 р.*
3. Гелетуха Г.Г., Железня Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.И. *Оценка энергетического потенциала биомассы в Украине. Часть 2. Энергетические культуры, жидкие биотоплива, биогаз // Промышленная теплотехника.* – 2011, т. 33, № 1. – С. 57-64.
4. Lubbecke S. *Niedrig-Energie-Membransystem fur die biologische Awasserreinigung / S. Lubbecke. // Chem.-Ing.-Techn.* – 2000. – 12, № 5. – С. 521 – 525.
5. Савицький В. М. *Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : навч. посіб. / В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк [заг. ред. В. К. Хільчевського]. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. – 152 с.*
6. Пат. 4420111 ФРГ, МКІБ С 02 F 3/30, С 02 F 3/00, С 02 F 3/12. *Verfahren zur Abwasserreinigung in einer biologischen Klaranlage (Спосіб біологічної очистки стічних вод) / Henkel Jurgen, Lepke Peter.* – № 4420111/7; заявл. 9.06.94; опубл. 14.12.95.
7. Наказ № 92 Про затвердження Рекомендацій на проектування споруд блочно-модульної конструкції потужністю від 1000-10000 м³/добу для реалізації технології комбінованого очищення стічних вод: за станом 04.04.08 р. / *Держжитлокомунгосп.* – К. – 2008.
8. Козловская С.Б. *Энергосберегающая технология утилизации биогаза метантенков на городских очистных сооружениях канализации / С. Б. Козловская, Е. Б. Сорокина // Вестник Одесской гос. академии строительства и архитектуры.* – Одесса : ОДАБА, 2005. – С. 14 – 18.
9. Козловська С.Б. *Обладнання анаеробного збродження осадів стічних вод з метою отримання та утилізації біогазу на комунальних очисних спорудах водовідведення / С.Б.Козловська, К.Б.Сорокіна // Коммунальное хозяйство городов. Науч.-тех. сб. – К.: Техніка, 2010. – Вып. 93. – С. 206 – 215.*

10. Пат. 2095321 Российская Федерация, С 02 F 3/22, С 02 F 11/04. Метантенк для очистки сточных вод с отводом биогаза / Евтеев В. К., Просвирнин В. Ю. – № 95114274/25 ; завл. 09.08.95; опубл. 10.11.97.

11. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с.

12. Абрамович И.А., Бондарь И.Л., Ютина А.С., Титов А.И. Производство и утилизация биогаза в Украине – современное состояние и перспективы // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК – 2001». – Ялта, 2001. – С. 162-164.

13. Дичко, А.О. Організація моніторингу довкілля з використанням методів теорії фракталів [Текст] / А.О. Дичко, І.С. Єремєєв: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – №19. – С. 150-156.

14. Дичко, А.О. Управління складними системами поводження з рідкими побутовими відходами [Текст] / А.О. Дичко, І.С. Єремєєв, М.Є. Гузовський: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – №18. – С. 168-172.

Стаття надійшла до редколегії 6.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.К. Ткачук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.

Дичко Алина Олеговна

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерной экологии
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

Евтеева Любовь Ивановна

Ассистент кафедры инженерной экологии
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

Ополинский Игорь Олегович

Магистрант кафедры инженерной экологии
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОМАССЫ В БИОГАЗ

Аннотация. Рассмотрены методы повышения эффективности метанообразования при анаэробном сбраживании биомассы. Представлена концепция двухстадийного сбраживания биомассы с частичной ее обработкой. Определено, что при применении механической и химической дезинтеграции выход биогаза превышает значение контроля в 2,6 и 4 раза соответственно с одновременным увеличением содержания метана в полученном биогазе.

Ключевые слова: интенсификация, биогаз, деструкция, сброженный субстрат, биомасса

Dychko Alina

Ph.D., Associate Professor
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv

Yevtieieva Liubov

Assistant
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv

Opolinskiy Igor

Master
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv

INTENSIFICATION OF PROCESS OF BIOENERGETIC TRANSFORMATION OF BIOMASS INTO BIOGAS

Abstract. The main ways to ensure the environmental safety and sustainable development of the country are cost savings of the consumption of electricity and heat generation, waste management and increasing the use of alternative energy sources. Energetic potential of using of biomass in Ukraine is analyzed. It was stated that methane fermentation of biomass solves the problem of waste utilization, as well as an alternative energy source. Among the methods of increasing the efficiency of methane output the fermented biomass disintegration by mechanical and chemical processing is perspective. Methods for increasing the efficiency of methane formation in anaerobic digestion of biomass are presented. Concept of two-stage digestion of biomass with its partial processing is shown. It was determined that the use of mechanical and chemical biomass disintegration biogas yield exceeds the control value at 2.6 and 4 time, respectively with simultaneous increase of the methane content in obtained biogas. As a result of researched technology use the calorific value of biogas increases up to 25 MJ/m³.

Keywords: intensification; biogas; destruction; digested substrate; biomass

References

1. *Energy Policies beyond IEA Countries - Ukraine 2012* (2012). Retrieved from: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ukr_summaryplus.pdf.
2. *Energy Strategy of Ukraine till 2030*, Cabinet of Ministers of Ukraine, 15.03.2006 № 145-p. Retrieved from: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/739-2011-n>.
3. Geletuha, G.G. (2011). Assessment of the energy potential of biomass in Ukraine. Part 2. Energy crops, liquid biofuels, biogas/ G.G. Geletuha, T.A. Zheleznyaya, N.M. Zhovmir, Yu.B. Matveev, O.I. Drozdova.// *Industrial Heat*, 1, 57-64.
4. Lubbecke, S. (2000). *Niedrig-energie-membran system fur die biologische awasserreinigung*. *Chem.-ing.-techn.*, 5, 521-525.
5. Savickij, V. M., Xilchevskij, V. K., Chunarov, M. V. & Yacyuk, O. V. (2007). *Waste production and consumption and their impact on soils and natural water*. Publishing center "Kyiv University", 152.
6. Henkel, J. & Lepke, P. *Process for wastewater treatment in a biological sewage treatment plant*, Pat. № 4420111/7 (1995), Germany, MKI 6 C 02 F 3/30, C 02 F 3/00, C 02 F 3/12.
7. *On approval of recommendations for the design of buildings modular design capacity of 1000-10000 m3/day to implement technology combined wastewater treatment: to 04.04.08* (2008), *Derzhzhilokomungosp*, № 92.
8. Kozlovskaya, S.B. (2005). *Energy saving technology of biogas digesters in urban sewage treatment facilities/ S.B. Kozlovskaya, E.B. Sorokina // Vesnik odesskoj gos. akademii stroitelstva i arhitektury, Odessa, 14-18.*
9. Kozlovskaya, S.B. (2010). *Equipment for anaerobic digestion of sewage sludge to obtain and utilization of biogas for municipal wastewater treatment plants*, Kyiv, 93, 206-215.
10. Evteev, V.K. & Prosvirmin, V.Yu., *Digester for wastewater treatment with biogas outlet* (1997). Pat. 2095321 Russian Federation, C 02 F 3/22, C 02 F 11/04. - № 95114274/25.
11. Gyunter, L.I. & Goldfarb, L.L. (1991). *Digestion tanks*, Moscow, Russia: Strojizdat, 128.
12. Abramovich, I.A., Bondar, I.L., Yutina, A.S. & Titov, A.I. (2001). *Production and utilization of biogas in Ukraine - the current status and prospects. Proceedings of the International Congress "ETE.VK-2001"*, Yalta, 162-164.
13. Dychko A.O. (2014). *The organization of environmental monitoring using methods of the theory of fractals/ A.O. Dychko, I.S. Eremeev // Management of Development of Complex Systems. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 19, 150-156.*
14. Dychko A.O. (2014). *Managing complex systems of liquid waste management/ A.O. Dychko, I.S. Eremeev, M.Y. Gusovskiy // Management of Development of Complex Systems. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 18, 168-172.*

Посилання на публікацію

- APA Dychko A., Yevtieieva L., & Opolinskiy I. (2015). *Intensification of process of bioenergetic transformation of biomass into biogas. Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 193-198.
- ГОСТ 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.*