

**Висновки.** Встановлено, що зі збільшенням обсягів виробництва та переробки соняшника збільшується вихід залишків рослинного походження – соняшникового лушпиння. Утилізація лушпиння вирішує одночасно кілька проблем: покращує екологічну обстановку, забезпечує підприємство тепловою, а деякі – частково електричною енергією, а також носить комерційний характер. Технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал лушпиння соняшника в Україні становить 500,7 тис. т умовного палива при переробці 8670,5 тис. тон насіння соняшника. Однак, існує ряд проблем, вирішення яких значно підвищить ефективність використання соняшникового лушпиння і тим самим збільшить конкурентоздатність галузі. Основною проблемою була і залишається екологічна проблема (викиди димових газів), для вирішення якої пропонується використання соняшникового лушпиння у якості одного із складників субстрату в процесі метанового бродіння.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Листопад В.Л. Рынок лузги подсолнечника в Украине и реализация проектов по производству твердого топлива в масложировой отрасли. [Текст] / В.Л.Листопад, В.Г.Кухта // Масложировой комплекс. – 2010. – №2 – С.16-20.
2. Брикетирование отходов из биомасс. [Текст] / Семенов В.Г., Марченко А.П., Алехин С.А., Грицюк А.В. // Масложировой комплекс: ежеквартальный научно-практический журнал. – Днепропетровск: ООО ИА «АПК-Информ». – 2006. – №4 – С.61-62.
3. Энергетика. Оборудование. Документация. [Электронный ресурс]. – Закон Украины «Об электроэнергетике». – Режим доступа: <http://forca.ru/knigi/pravila/zakon-ukrainy-ob-elektroenergetike.html>.
4. Энергетика. Альтернативная энергетика. [Электронный ресурс]. – Зеленый тариф и альтернативное будущее Украины. – Режим доступа: <http://jkg-portal.com.ua/ru/publication/one/alternativne-majbutne-ukrajini>.
5. Матвійчук О.С. Експериментальне дослідження фізико-хімічних і теплотехнічних властивостей соломи та лушпиння як твердого біопалива. [Текст] / Матвійчук О.С., Рудавіна О.В., Чернявський М.В. // Відновлювана енергетика. – 2015. – №1 – С.58-67.
6. Статистичний щорічник України за 2015 рік. – К.: Інформаційно-аналітичне агентство, 2016. – 566с.

*Надійшла до редколегії 06.03.2017.*

УДК 661.152.3

БЄЛЯНСЬКА О.Р., к.т.н., ст. викладач  
КЛИМЕНКО І.В., викладач  
ВОЛОШИН М.Д., д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗБРОДЖУВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ НА ЯКІСТЬ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ (НА ПРИКЛАДІ м. КАМ'ЯНСЬКОГО)**

**Вступ.** Проблеми накопичення та утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) виникають і потребують свого вирішення в Україні на протязі трьох останніх століть. На сьогоднішній день щорічний обсяг твердих побутових відходів в нашій державі становить близько 50,5 млн. тонн [1]. Найкращим методом утилізації твердих побутових відходів є збирання відходів, що дає змогу оптимально вирішувати проблему всебічного використання вторинних ресурсів сировини та матеріалів [1, 2]. Іншими шляхами утилізації ТПВ є: вивіз відходів до санітарних зон, де вони сортуються для одержання вторинної сировини і спалюються в спеціальних печах для отримання енергії; захоро-

нення на спеціальних сміттєзвалищах або полігонах; зберігання на відкритих майданчиках, що призводить до розмноження гризунів та забруднення атмосфери, підземних і поверхневих вод [3]. Комплексна система управління твердими побутовими відходами передбачає вторинну переробку відходів, зокрема метанове бродіння. Значна кількість компонентів твердих побутових відходів з успіхом може перероблятися на корисні матеріали і товари, зокрема в комплексне добриво. Дослідження в технології переробки твердих побутових відходів з отриманням якісного комплексного добрива при використанні процесу метанування в мезофільному режимі є актуальним і має народногосподарське значення.

*Аналіз останніх досліджень.* Незважаючи на те, що останнім часом в Україні реалізується все більше проектів з альтернативної енергетики, загальна частина використання відновлювальних джерел енергії не перевищує 2% [3]. Використання біогазових технологій дозволяє вирішувати проблеми, пов'язані з утилізацією та переробкою великої кількості накопичених відходів. Переробка органічних речовин у відходах відбувається за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів. Перевагами анаеробної переробки відходів є низька енерговитратність, отримання збродженого осаду, що може використовуватись в якості органо-мінерального добрива, та побічного продукту біогазу. Недоліками процесу метанування є недостатньо ефективний процес переробки органічної сировини мікроорганізмами.

Найчастіше інтенсифікація процесу метанування в біореакторі здійснюється за рахунок підігріву та перемішування завантаженого субстрату [3]. Безперервне завантаження перероблюваної суміші дає можливість стабілізувати швидкість анаеробного розкладання субстрату, що зброджується, та забезпечити рівномірний вихід біогазу.

Перемішування осаду в біореакторах дозволяє ефективно використовувати весь об'єм споруди, виключає утворення кірки завантаженої суміші та «мертвих зон», сприяє покращенню газоутворення [4].

Результати досліджень [5] підтверджують можливість підвищення ефективності процесу метанового бродіння шляхом попередньої механічної обробки зброджуваної суміші, а саме шляхом диспергування. Цей метод дозволяє зменшити процес метанового бродіння до 20 діб. Для досягнення оптимальної концентрації мікроорганізмів анаеробів у зброджувальній суміші застосовується рециркуляція [6].

**Постановка задачі.** Метою дослідження є створення нової ефективної технології отримання комплексного добрива на основі твердих промислово-побутових відходів при розширенні сировинної бази та нової якості продукції; визначення чинників, що впливають на якість процесу метанового зброджування, зокрема кінетику і швидкість виходу біогазу, за отриманими результатами. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: теоретично обґрунтувати та експериментально довести вибір промислово-побутових відходів, що можуть використовуватись для отримання якісного комплексного добрива; створити пілотну установку попередньої підготовки сировини для метанового зброджування; розробити принципову технологічну схему і визначити параметри технологічного режиму отримання комплексного добрива на основі промислово-побутових відходів; виконати техніко-економічні розрахунки щодо ефективності процесу.

**Результати роботи. Методи досліджень.** В якості реактора метанового бродіння використовували скляну колбу об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup>. Реактор встановлювали в корпус з внутрішньою теплоізоляцією. Газозбірники, заповнені водою, з'єднувались з реактором через газовідвідну трубку. На лінії до газозбірника встановлювали поглиначі вологи та СО<sub>2</sub>. В реактор встановлювали електричний нагрівач з терморегулятором.

Для ведення процесу використовували мезофільний режим бродіння. Виділення біогазу контролювали за допомогою витісненої води з газозбірника у мірний циліндр.

Контроль температурного режиму вели за допомогою електричного нагрівача з терморегулятором. По закінченню експерименту отримане добриво висушували і визначали вологість, вміст органічних речовин та елементний склад.

У дослідженнях для отримання комплексного добрива використовували наступні відходи:

- а) курячий послід підприємства ПРАТ «Оріль-Лідер»;
- б) соняшниковий шрот з ТОВ «Пересічнрянський олійноекстракційний завод»;
- в) хліб та відходи пекарень з ПАТ «Миرونівський хлібопродукт»;
- г) стічна вода з очисних споруд каналізації КВП ДМР «Міськводоканал» м. Кам'янського.

Для зброджування використовували суміш з наступним компонентним складом, мас. %: курячий послід 40-45, соняшниковий шрот та олія 33-30, старий хліб та відходи пекарень 27-25.

Вологість зброджувальної суміші становила 85%, температура – 14°C.

Стадію подрібнення проводили за допомогою рамної та фрезерної мішалки. Перемішування тривало протягом 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 хвилин. Подрібнену суміш усереднювали за допомогою магнітної мішалки при частоті обертання 2 об/с. За допомогою ситового аналізу при просіюванні через набір стандартних сит визначали розмір часток суміші промислово-побутових відходів. По завершенню подрібнену суміш подавали в біореактор метанового бродіння для отримання біогазу і комплексного добрива. Дослідження процесу подрібнення проводили на пілотній установці, що наведена на рис. 1.

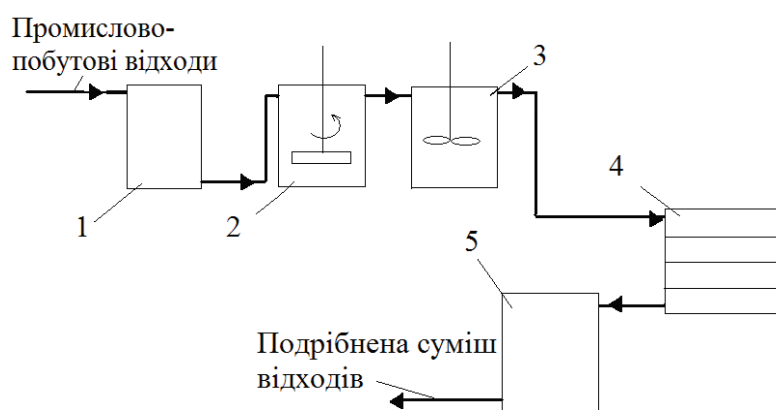


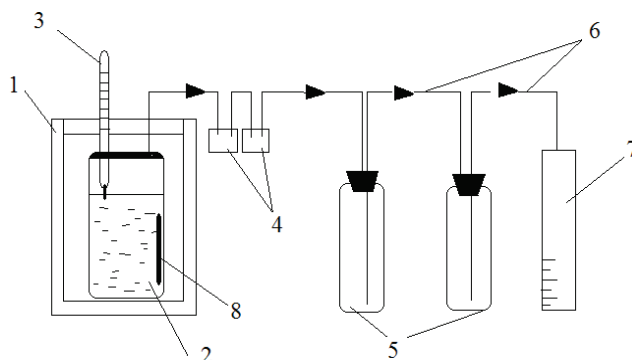
Рисунок 1 – Принципова схема пілотної установки подрібнення відходів

Через приймальну ємність 1 зброджувальну сировину направляли на подрібнення 2, де за допомогою мішалки перемішували і подрібнювали на протязі 2,5 хвилин. Подрібнену суміш завантажували у ємність з магнітною мішалкою 3 (частота обертання 2-4 об/с) для усереднення. Після усереднення сировину завантажували на сита 4, де за допомогою ситового аналізу визначали розмір

часток субстрату. Крупні частинки, що залишались на поверхні сит, повертали до реактора в приймальну ємність. Просіану суміш завантажували в ємність для подрібненої суміші 5 з подальшим її використанням в якості сировини для біогазу та добрива.

Дослідження процесу знешкодження промислово-побутових відходів з отриманням комплексного добрива проводили на пілотній установці, наведеній на рис.2.

Досліджено ефективність попередньої обробки зброджувального субстрату при застосуванні рамної та фрезерної мішалки (табл.1). У якості субстрату використовували хлібні крихти, шрот і курячий послід. При використанні рамної мішалки спостерігалось нерівномірне перемішування суміші. Із загальної маси даної суміші найкраще подрібнювались хлібні крихти, шрот налипав на лопаті мішалки, що пояснюється тим, що в суміші присутні домішки олії. Курячий послід перемішувався найгірше, тому як його структура і форма неоднорідні. Розмір часток після перемішування рамною мішалкою зменшився на 27,5%.



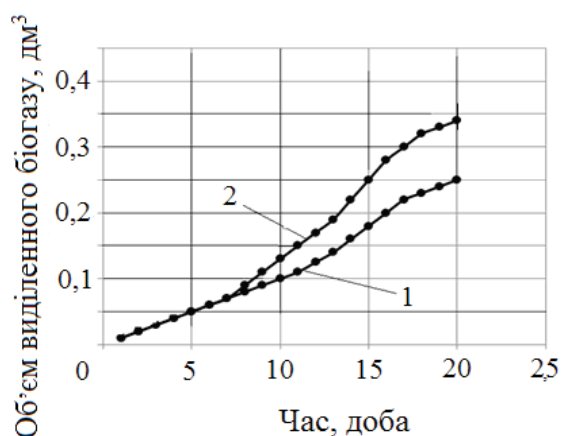
1 – корпус з внутрішньою теплоізоляцією; 2 – реактор для анаеробного бродіння;  
3 – термометр; 4 – поглиначі вологи та CO<sub>2</sub>; 5 – газозбірники; 6 газовідвідна трубка;  
7 – циліндр для збору витісненої води; 8 – електричний нагрівач з терморегулятором

Рисунок 2 – Схема пілотної установки процесу знешкодження промислово-побутових відходів з отриманням комплексного добрива

Таблиця 1 – Усереднений розмір часток після обробки фрезерною і рамною мішалками

Найменування мішалки	Тривалість перемішування, хв.					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
	Розмір часток, см					
Фрезерна	2	0,65	0,35	0,3	0,25	0,25
Рамна	2	1,7	1,55	1,45	1,4	1,4

На фрезерній мішалці субстрат перемішувався і подрібнювався краще, ніж на рамній. Хлібні крихти за допомогою фрези перетерлись в порошок, шрот перетворився в однорідну масу, а курячий послід завдяки фрезерній мішалці подрібнився краще, ніж на рамній, але його часточки залишились неоднорідними. Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що на фрезерній мішалці суміш подрібнилась краще і майже однорідно. Розмір часток після перемішування фрезерною мішалкою зменшився на 87,5%.



1 – відходи без попередньої обробки;  
2 – відходи з попередньою обробкою

Рисунок 3 – Кінетика виділення біогазу з промислово-побутових відходів

Досліджено кінетику виділення біогазу із зброджувальної суміші промислово-побутових відходів в мезофільному режимі в перерахунку на 1 кг сухої речовини, що представлено на рис.3.

Найменше виділення біогазу спостерігалось у першій пробі без попередньої обробки зброджувальної суміші 1 (рис.3). В іншій пробі 2 (рис.3) виділення біогазу проходило швидше. Інтенсивне виділення біогазу спостерігалось з 8 по 16 добу. Найбільше виділення біогазу було з 11 по 13 добу. На 16-ту добу вихід біогазу ставав незначним, що свідчить про подальшу недоцільність ведення процесу бродіння.

Для утворення комплексного добрива було використано наступне ваго-

ве співвідношення компонентів на суху речовину: курячий послід 40-45%, соняшниковий шрот та олія 33-30%, старий хліб та відходи пекарень 27-25%. Визначено, що вміст поживних речовин в готовому комплексному добриві наступний, %:  $N_{\text{зар}}$  – 0,839; P – 4,453; K – 3,36.

Спираючись на отримані результати досліджень, складено принципову технологічну схему одержання комплексного добрива на основі твердих промислово-побутових відходів, наведену на рис.4.

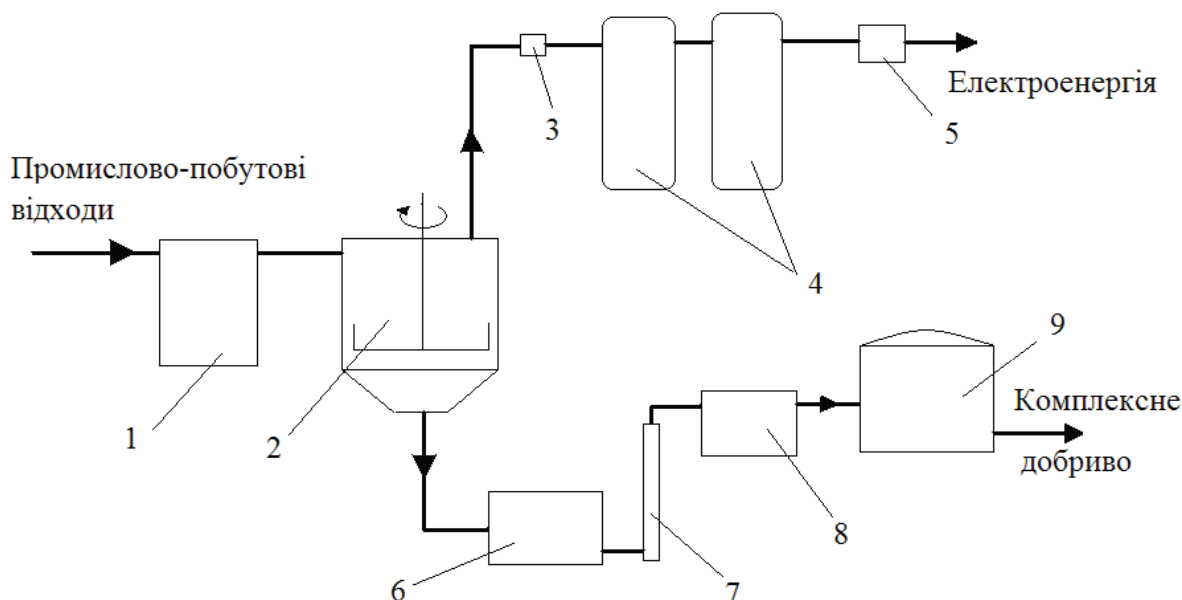


Рисунок 4 – Принципова технологічна схема одержання комплексного добрива на основі твердих промислово-побутових відходів

Принципова технологічна схема одержання комплексного добрива на основі твердих побутових відходів включає фрезерну мішалку 1, в якій перемішується та подрібнюється соняшниковий шрот, пташиний послід та відходи хлібзаводу. Критерій Рейнольдса для сировини з початковою вологістю близько 99% повинен дорівнювати  $42,4 \cdot 10^3$ , тривалість перемішування – 4-6 хвилин; якщо вологість сировини буде близько 96%, то критерій Рейнольдса для процесу перемішування повинен бути  $29,93 \cdot 10^3$ , перемішування триватиме 3-5 хвилин; а якщо вологість сировини, що потрібно подрібнювати та перемішувати, буде близькою до 92%, то критерій Рейнольдса для фрезерної мішалки 1 повинен становити  $17,47 \cdot 10^3$ , тривалість перемішування при таких умовах повинна бути в інтервалі 2-4 хвилини. Після подрібнення суміш подають у біореактор 2, де відбувається процес метанового зброджування. Рекомендовано використовувати мезофільний режим метанового бродіння, а тривалість процесу повинна становити близько 18 діб. По закінченню процесу бродіння зброжену суміш подають до центрифуги 6, де при обертанні ротора центрифуги в межах  $83-117 \text{ с}^{-1}$  протягом 250-270 с відбувається зневоднення комплексного добрива. Зневоднене комплексне добриво елеватором 7 транспортується на ділянку дозування і фасування добрив 8, з якої добриво в поліетиленових мішках вивантажують на склад готових добрив 9. Отриманий в біореакторі біогаз за допомогою компресора 3 надходить в газозбірники 4, після чого направляється на газогенератор 5 для виробництва електроенергії, яку надалі використовують для потреб виробництва.

Розраховано собівартість (на листопад 2016 р.) отриманого комплексного добрива, що становить 1020,50 грн. за 1 т., індекс прибутковості інвестицій в розроблену технологію – 1,7, а дисконтований термін окупності не перевищує 1,2 роки. Одержаний позитивний результат дає можливість вигідно реалізовувати комплексні добрива на основі промислово-побутових відходів.

**Висновки.** 1. Встановлено, що використання таких твердих побутових відходів, як курячий послід, відходи виробництва соняшникової олії, відходи пекарень в якості сировини для отримання біогазу і комплексного добрива ефективно, дозволяє отримувати від 0,35 до 0,7 дм<sup>3</sup> біогазу з 1 кг сухої речовини, має народногосподарське значення.

2. Створено пілотну установку подрібнення промислово-побутових відходів для подальшого їх знешкодження з отриманням комплексного добрива при використанні процесу інтенсивного перемішування фрезерною мішалкою, що обертається з частотою до 17 с<sup>-1</sup>, в якій співвідношення діаметрів апарату і фрези дорівнює 1,05, а окружна швидкість становить 3,04 м/с. Пілотна установка допомагає дослідити вплив частоти обертання ротора мішалки, тривалості перемішування підготовленої сировини. Конструктивне виконання рамної мішалки забезпечує турбулізацію середовища вздовж фрези, що дозволяє знизити металоємність конструкції.

3. Встановлено, що найбільш ефективним методом підготовки сировини до зброджування є фрезерне перемішування. Розмір часток після перемішування фрезерною мішалкою зменшується на 87,5%, в той час як при використанні рамної мішалки – на 27,5%.

4. Створено загальну технологічну схему отримання комплексного добрива на основі твердих промислово-побутових відходів, в якій вперше застосовується процес попередньої обробки зброджувальної суміші фрезерною мішалкою, що прискорює процеси відстоювання і подальшого метанового бродіння в 2 рази.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Белянська О.Р. Технологія одержання комплексного добрива на основі диспергованого активного мулу [Текст] / О.Р.Белянська, А.В.Іванченко, М.Д.Волошин // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 3/6 (75). – С.43-48.
2. Білявський Г.О. Про класифікацію основних напрямів сучасної екології / Г.О.Білявський, В.М.Бровдій // *Рідна природа*. – 1995. – № 2. – С.4-7.
3. Ракша Н.В. Органо-минеральные удобрения из осадков сточных вод / Н.В.Ракша, В.И.Тошинский // *Сотрудничество для решения проблемы отходов: VI Междунар. конф.*, 8-9 апреля 2009 г.: материалы. – Харьков, 2009. – С.242.
4. Lubbecke S. Niedrig-Energie-Membransystem für die biologische Abwasserreinigung / S.Lubbecke // *Chem.-Ing.-Techn.* – 2000. – № 5. – С.521-525.
5. Белянська О.Р. Моделювання впливу попереднього диспергування в технології одержання комплексного добрива / О.Р.Белянська, М.Д.Волошин, В.В.Кармазіна // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Сер.: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2015. – №6 (1115). – С.12-20.
6. Jetten M.S.M. The anaerobic oxidation of ammonium [Text] / M.S.M.Jetten, M.Strous, K.T.van de Pas-Schoonen [et al.] // *FEMS Microbiol. Rev.* – 1999. – V. 22. – P.421-437.

*Надійшла до редколегії 06.03.2017.*