

УДК 636:628.54

Тонковид О., Тихоненко О., Рудик Л. (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

## Техніко-технологічне рішення для раціональної утилізації вторинної сировини тваринництва

*У статті наведені результати досліджень проблем утилізації побічних продуктів тваринництва та виробництва з них високоякісного біодобрива: встановлено необхідність і доцільність використання біотехнологій утилізації тваринних відходів з отриманням високоякісного органічного добрива та енергетичних ресурсів (біогазу) для раціонального виробництва сільськогосподарської продукції; наведено основні аспекти знезараження твердого гною, розділення гною на рідку і тверду фракції, а також біологічного очищення рідкої фракції гною метановим зброджуванням; описано розроблену технологічну лінію з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси; наведені прогнозні розрахунки економічної ефективності цієї технології.*

**Ключові слова:** рідкі відходи тваринництва, тверді відходи тваринництва, ферментація органічної маси, утилізація відходів, адсорбція, іммобілізатор, собівартість, рентабельність, період окупності.

**Постановка проблеми.** Побічні продукти тваринництва становлять екологічну небезпеку для довкілля через наявність в їхніх компонентах патогенних мікроорганізмів та небезпечних речовин. Вони створюють реальну небезпеку для здоров'я людей та потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними.

Утворення, переробка, виділення корисних компонентів та знешкодження побічних продуктів тваринництва – це один з видів техногенного процесу, який знайшов відображення в Законі України від 07 квітня 2015 року № 287-VIII «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною» [1].

© Тонковид О., Тихоненко О., Рудик Л. 2018

В Україні 08 листопада 2017 року розпорядженням Кабінету Міністрів № 820-р схвалено Національну стратегію управління відходами до 2030 року [2]. Стратегія визначає головні напрями державного регулювання у сфері поводження з відходами в найближчі десятиліття з урахуванням європейських підходів з питань управління відходами, які базуються на положеннях ряду рамкових Директив ЄС. Проблема, на розв'язання якої спрямована ця Стратегія, полягає у необхідності вирішення критичної ситуації, яка склалася з утворенням, накопиченням, зберіганням, переробленням, утилізацією та захороненням відходів і характеризується подальшим розвитком екологічних загроз.

Вагомим джерелом утворення відходів сільського господарства є тваринництво, де основним видом відходів сільського господарства є гній тварин. Поголів'я ВРХ в Україні налічує 3,5 млн. голів, а свиней – 6,1 млн. голів [3, с.135]. За середньодобового виходу гною від однієї голови ВРХ 30 кг та від однієї голови свиней – 20 кг, за рік може утворитися до 230 млн. тонн гною.

Для забезпечення екологічних вимог до захисту довкілля, здоров'я людей і тварин необхідним і доцільним є використання біотехнологій утилізації тваринних екскрементів, сечовини і гною, що дозволить отримувати високоякісне органічне добриво та енергетичний ресурс (біогаз) для раціонального виробництва сільськогосподарської продукції.

**Мета дослідження.** Обґрунтування техніко-технологічного рішення утилізації побічних продуктів тваринного походження з отриманням високоякісного органічного добрива і біоенергетичних ресурсів для сільськогосподарського виробництва, визначення економічної ефективності цієї технології.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Враховуючи результати аналітичних досліджень технологій переробки біологічних відходів встановлено, що раціональною технологією утилізації рідких відходів тваринництва є технологія метанового зброджування анаеробним способом.

На сьогодні 75 % корів утримуються в особистих селянських господарствах [3, с.142], з огляду на це, розроблено техніко-технологічне рішення переробки рідких відходів тваринництва з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси за рахунок комбінованого використання рідких та твердих відходів тваринництва на малій сімейній фермі для виробництва молока з поголів'ям 10 корів та свиноферми на 50 свиней на відгодівлі.

Основними технологічними критеріями метанового зброджування є:

- підготовлена гнойова маса повинна бути свіжою з максимальним вмістом органічних речовин;
- розмір включень і твердих часток не більше 30 мм;
- оптимальні параметри маси для анаеробного зброджування: вологість – 90-92 %, зольність – 15-16 %, рН – 6,9-8,0, вміст жирних кислот – 600-1500 мг/л, лужність – 1500-3000 мг;
- зброджувальна маса не повинна мати речовин, які пригнічують життєдіяльності метанотворних організмів, які інгібують технологічний процес анаеробного збродження більше допустимих концентрацій;

- збродження необхідно проводити в герметичних біореакторах-метантенках, ферментерах;
- для інтенсифікації метаногенезу біореактори слід обладнувати устаткуванням для примусового перемішування зброджувальної маси;
- зброджування доцільно проводити з підігріванням і підтримкою температури в мезофільному режимі;
- тривалість ферментації рідкого гною – 8 діб,
- вихід рідкого гною від свиней за 8 діб – 2000 кг;
- вихід твердого підстилкового гною від корів за 8 діб – 4400 кг,
- вологість рідкого гною – 85 – 98 %, а твердого гною 75-82%.

Основними технічними критеріями метанового зброджування є:

- завантаження гнойової маси в мікробіологічний реактор відбувається з використанням відцентрового насоса та поршневого насоса;
- місткість біологічного реактора органічної маси не менше, ніж 3 м<sup>3</sup>;
- заповнення мікробіологічного реактора на 1/3 об'єму реактора для якісного виконання технологічного процесу.

Проаналізувавши загальні технологічні та технічні критерії метанового зброджування рідкої біомаси, науковці УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого запропонували техніко-технологічне рішення з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси із застосуванням нового конструктивного рішення використання твердої і рідкої органічної маси.

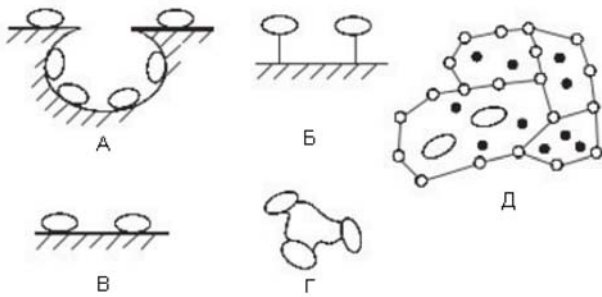
Іммобілізація – це процес прикріплення біологічних агентів (ферментів, кліток) до поверхні природних або синтетичних матеріалів, включення їх в полімерні матеріали, порожнисті волокна і мембранні капсули, поперечне хімічне зшивання. У процесі іммобілізації ферментів відбувається стабілізація каталітичної активності, іммобілізований фермент, що має обмежену можливість для конформаційних перебудов, швидше розчинного знаходить найкоротший шлях до функціонально активної конформації. Це дозволяє організувати на базі іммобілізованих ферментів ефективні біотехнологічні процеси періодичної, а також безперервної дії з використанням принципу взаємодії рухомої і нерухомої фаз.

Відомі різні методи іммобілізації: адсорбційні методи і методи хімічного скріплення на поверхні, методи механічного включення або захоплення, методи хімічного приєднання (рис. 1).

Адсорбція – це найпростіший метод іммобілізації ферментів на поверхні нерозчинних носіїв. Процедура іммобілізації полягає у змішуванні в певних умовах ферменту з носієм та інкубації суміші. Адсорбція – м'який метод іммобілізації, яка має недолік – слабкість зв'язків. Тому під час незначної зміни умов середовища (рН, температури, іонної сили, концентрації продукту) можлива десорбція клітин із поверхні носія.

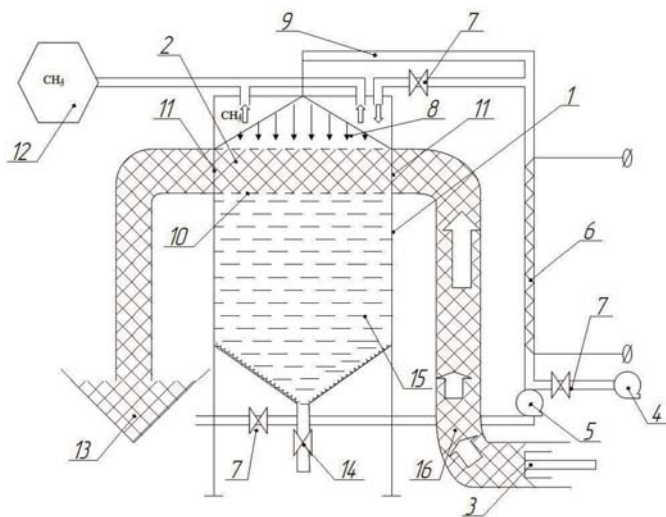
Процес метаногенезу органічної маси забезпечується мікробіологічним реактором із самоочисним іммобілізатором активної біомаси (рис. 2), який складається з біореактора у формі циліндричного резервуара з нержавіючої сталі з конусним дном та трубо-

провода твердої органічної маси, яка слугує іммобілізатором у твердофазному реакторі витіснення періодичної дії.



А – адсорбція на великопористому носіїві; Б – ковалентне скріплення; В – адсорбція; Г – поперечне зшивання;  
Д – включення в гель

Рис. 1 – Основні методи іммобілізації



1 – мікробіологічний реактор, 2 – трубопровід для твердої органічної маси, 3 – поршневі насос, 4 – відцентровий насос для завантаження рідкої органічної маси; 5 – відцентровий насос для перемішування органічної маси; 6 – теплообмінник; 7 – клапани для зберігання технологічного процесу та уникнення потрапляння повітря в мікробіологічний реактор; 8 – система розпилення рідкої біомаси; 9 – трубопровід, який слугує для перемішування органічної маси та завантаження в реактор; 10 – отвори для потрапляння рідкої біомаси в тверду; 11 – шибери; 12 – еластичний газгольдер; 13 – трубопровід витіснення твердої органічної маси; 14 – клапан зливання рідкої органічної маси та осаду; 15 – рідка органічна маса; 16 – тверда органічна маса (іммобілізатор активної біомаси).

Рис. 2 – Мікробіологічний реактор із самоочисним іммобілізатором активної біомаси

Подача органічної маси відбувається відцентровим насосом (4) по трубопроводу (9) в мікробіологічний реактор (1), проходячи через теплообмінник (6), маса нагрівається до певної температури та через систему розпилення рідкої біомаси (8) потрапляє крізь отвори (10) у тверду біомасу (16), яка слугує іммобілізатором активної біомаси.

Завдяки системі трубопроводів (9) і насоса (5) відбувається перемішування рідкої органічної маси (15).

Поршневим насосом (3) тверда органічна маса (16) потрапляє в трубопровід (2), а герметичність забезпечується шиберами (11).

Схема трубопроводів обладнана клапанами (7), які слугують для дотримання технологічного процесу та запобігання потраплянню повітря в мікробіологічний реактор. Виділений біогаз подається в еластичний газгольдер (12).

Вивантаження з трубопроводу витіснення твердої органічної маси (13) відбувається в резервуари, або в бункер накопичення переробленого гною.

Клапан зливання рідкої органічної маси та осаду (14) слугує для вивантаження органічної маси, яка вже пройшла метанове зброджування.

Таке техніко-технологічне рішення є універсальним завдяки використанню рідкої та твердої фракції гною, з якої на виході отримуємо біогаз та активну рідку та тверду біомасу, як насичене органічне добриво.

Технологічна лінія з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси зображена на рис. 3.

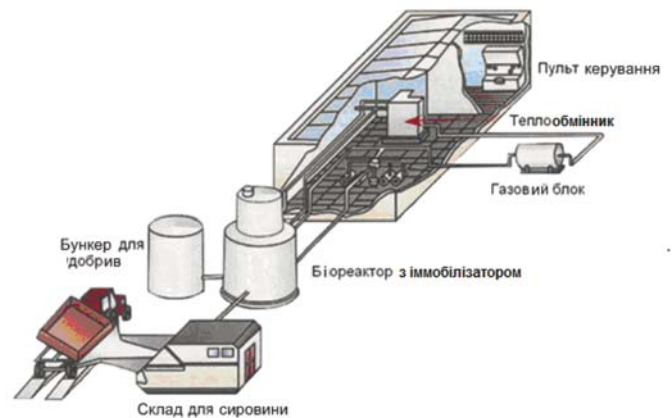


Рис. 3 – Технологічна лінія з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси

У технологічну лінію утилізації рідких відходів тваринництва входить безпосереднє транспортування органічної маси з ферми до місця приготування суміші, оскільки рідка фракція складається з гною від свиней, а тверда фракція гною від корів дозволяє забезпечити якісний технологічний процес ферментації органічної маси.

Завантаження рідкої біомаси здійснюють безпосередньо відцентровим насосом у мікробіологічний реактор та заповнення його відбувається лише на 1/3 частину та період бродіння становить 8 діб. Оскільки для процесу ферментації важливу роль відіграє температура, то оптимальна температура для мезофільної ферментації біомаси складає близько 37 °С, тому для підтримання її використовують теплообмінник. Джерелом теплової енергії є частина (25-35 %) виробленого біогазу, або електроенергія, іншу частину біогазу, яка залишається, використовують для власних технологічних потреб.

Тверда органічна маса завантажується поршневим насосом по криволінійному трубопроводу, який заходить у верхню частину мікробіологічного реактора та слугує твердофазним реактором витіснення періодичної дії для іммобілізації активної біомаси підвищенням концентрації ферментів та пришвидшенням процесу ферментації. Завдяки нарощуванню метаногенних бактерій на соломі в твердій біомасі та змочуванню

цієї органічної маси рідким гноем відбувається стабілізація процесу подачі органічних бактерій в рідку фракцію, у якій відбувається процес ферментації та виділення біогазу.

Твердофазний реактор витіснення періодичної дії працює 8 діб і за період цих днів проштовхування біомаси відбувається частинами для того, щоб зменшити ризик закисання твердої фракції та щоб нарощування бактерій відбувалося в свіжому шарі твердої біомаси. Після закінчення ферментації твердого підстилкового гною він проштовхується у трубопроводі та потрапляє у воду, яка слугує гідрозатвором для герметичності біореактора.

Для цілісності процесу ферментації необхідне зрощування твердої біомаси рідкою розпилювачами над трубопроводом твердої маси, що має отвори, через які рідка фракція гною потрапляє в тверду і тим самим пришвидшує процес наростання бактерій, які зі свого боку через нижні отвори трубопроводу потрапляють у рідку органічну масу. Процес подачі твердої органічної маси не порушує технологічного процесу.

Для ефективного перебігу процесу ферментації рідку органічну масу в мікробіологічному реакторі необхідно перемішувати декілька разів на день гідравлічним перемішуванням без використання за таких умов рухомих деталей. Такого роду перемішування створює осад, але завдяки конусному дну циліндра осад скочується та видаляється. Видалення біогазу відбувається компресором, який направляє газ в еластичний газгольдер.

Отже, реакторна система ферментації дозволяє:

- отримати активне добриво для внесення на поля;
- знезаразити рідкі та тверді відходи завдяки прискоренню процесу ферментації;
- сприяти вирішенню екологічних проблем та забезпечити газом ферму (за умови очищення біогазу), який можна використовувати на власні потреби.

На ефективність роботи мікробіологічного реактора великий вплив має попередня підготовка початкового субстрату. Чим менші розміри часток органічних компонентів початкової сировини рідкого гною, тим більша їхня питома поверхня і, відповідно, вища інтенсивність протікання процесу зброджування. Приміром, подрібнення субстрату до розміру частинок, менших за 1 мм, дозволяє підвищити вихід біогазу на 20 %. Інтенсивність метаноутворення істотно залежить і від ступеня однорідності початкового субстрату.

Прогнозну економічну ефективність досліджуваного обладнання оцінювали за вартістю отриманих твердих і рідких біодобрив за ринковою ціною. Для визначення економічної ефективності роботи установки розраховано експлуатаційні витрати (таблиця 1).

Прямі експлуатаційні витрати склали 3295 грн за один виробничий цикл (8 днів). Найбільшу питому вагу в структурі витрат на експлуатацію установки (71 %) склали витрати на заробітну плату з нарахуваннями. Витрати на амортизацію, ремонт і ТО відносно невисокі через низьку ціну цього обладнання.

Для визначення економічної доцільності створення та експлуатації цього обладнання, визначено економічні показники повного технологічного процесу переробки відходів тваринництва та отримання з них біо-

добрива. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Вихідні дані та розрахунок затрат на експлуатацію обладнання

Показник	Значення показника
Цикл переробки відходів та виробництва біогазу, днів	8
Кількість виробничих циклів за рік	40
Персонал, чол	1
Кількість днів роботи обладнання у календарному році (40 циклів)	320
Ціна обладнання, грн	153000
Строк експлуатації обладнання, років	10
Щорічні відрахування на ремонт і ТО, %	4
Витрати електроенергії, кВт•год/цикл	179,75
Ціна електроенергії, грн./кВт•год	2,4
Погодинна оплата праці персоналу, грн/год	30,0
Коефіцієнт нарахування на заробітну плату	1,22
Затрати праці, люд.-год/цикл	63,6
Експлуатаційні затрати, грн/цикл включаючи: - затрати на заробітну плату з нарахуваннями - затрати на електроенергію - затрати на амортизацію - затрати на поточний ремонт і ТО	3295 2328 431 383 153

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності установки

Показник	Значення показника
На вході рідка органічна сировина, т/цикл тверда органічна сировина, т/цикл	2,0* 4,4*
Собівартість рідкої органічної сировини (на вході), грн/т твердої органічної сировини (на вході), грн/т	200 250
На виході рідкі біодобрива, т/цикл тверді біодобрива, т/цикл	2,0 4,0
Ціна реалізації рідких біодобрив, грн / т твердих біодобрив, грн / т	900 1200
Вихід біогазу (неочищеного), м куб /цикл	120
*виходячи з власного поголів'я фермерського господарства	

На цьому етапі досліджень та розрахунків до уваги не прийнято вироблений біогаз, оскільки для його використання потрібно пройти процес очищення, для чого необхідне відповідне додаткове обладнання. За виробничий цикл переробки відходів тваринництва



виробляється 120 м куб біогазу, 30 % якого можна використовувати для забезпечення роботи теплообмінника обладнання, що значно скоротить затрати на його експлуатацію, а 70 % біогазу – для власних потреб.

Розрахунок економічної доцільності використання обладнання наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок економічної ефективності

Показники	Значення показника
Затрати: на рідку органічну сировину, грн/цикл на тверду органічну сировину, грн/цикл	1100 400
Всього затрати на переробку органічної сировини, грн/цикл (грн/рік)	4795 (191800)
Валовий дохід, грн/цикл (грн/рік),	6600 (264000)
Включаючи: від реалізації рідких біодобрих, грн./цикл від реалізації твердих біодобрих, грн/цикл	1800 4800
Прибуток, грн/рік	72200
Рентабельність, %	38
Період окупності, років	2

Аналіз показників економічної ефективності цієї установки показує, що технологічний процес з переробки відходів тваринництва (а саме гною ВРХ та свиней) є досить прибутковим, рентабельність склала 38 %, а період окупності – 2 роки.

#### Висновки.

1. Враховуючи актуальність утилізації побічних продуктів тваринного походження і виробництва екологічно чистої продукції та охорони довкілля, розроблені вихідні критерії і техніко-технологічне рішення раціональної переробки рідких відходів тваринництва з використанням мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси завдяки комбінованому використанню рідких та твердих відходів тваринництва на малій сімейній фермі для виробництва молока на 10 корів та свиноферми на 50 свиней для відгодівлі.

2. Аналіз показників економічної ефективності мікробіологічного реактора із самоочисним іммобілізатором активної біомаси показав, що технологічний процес з переробки відходів тваринництва (а власне гною від свиней та корів) є досить прибутковим з рентабельністю 38 % і періодом окупності 2 роки, що є новим технічним рішенням, яке можна використовувати для забезпечення екологічної складової технологічних процесів сільськогосподарського виробництва.

#### Література

1. Закон України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною» від 07.04.2015 року № 287-VIII.

2. Розпорядження Кабінету міністрів України «Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року» № 820-р від 08.11.2017

3. Статистичний збірник «Сільське господарство України» за 2017 рік, Державна служба статистики, 2018, С.135, 142.

4. Біодобриво як продукт утилізації гною методом метанового бродиння і перспективи його використання / Л. М. Максінко, О. Г. Малик, Т. Б. Нагірняк [і ін.] // Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2015. – Т. 17, № 3. – С. 404 – 411.

5. Глуховський І. В. Сучасні технології знешкодження й утилізації небезпечних відходів виробництва / І. В. Глуховський, В. М. Шумейко,

В. М. Овруцький [та ін.] – К.: ДІПК Мінекобезпеки України, 1998. – 45 с.

**Анотація.** В статті приведені результати досліджень проблем утилізації побічних продуктів тваринництва і виробництва з них високоякісного біодобрива: встановлено необхідність і целесообразність використання біотехнологій утилізації живих відходів з отриманням високоякісного органічного добрива і енергетичних ресурсів (біогазу) для раціонального виробництва сільськогосподарської продукції; приведені основні аспекти обеззараження твердого навоза, розділення навоза на рідку і тверду фракції, а також біологічної очистки рідкої фракції навоза метановим бродинням; описано розроблену технологічну лінію з використанням мікробіологічного реактора з самоочищаючим іммобілізатором активної біомаси; приведені прогнозні розрахунки економічної ефективності цієї технології.

**Summary.** The article presents the results of research on the problems of utilization of animal by-products by-products and the production of high-quality biofertilizers from them: the necessity and expediency of using biotechnologies for utilization of animal waste with the obtaining of high-quality organic fertilizers and energy resources (biogas) for rational agricultural production is determined; The main aspects of decontamination of solid manure, separation of manure from liquid and solid fractions, as well as biological treatment of liquid manure fraction with methane fermentation are given; The developed technological line with the use of microbiological reactor with self-cleaning immobilizer of active biomass is described; the predicted calculations of the economic efficiency of this technology are given.

Стаття надійшла до редакції 14 грудня 2018 р.