

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису**

**Кравченко Юрій Олександрович**

**УДК 631.171**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Вдосконалення біогазових установок для виробництва  
добрив**

**208 “Агроінженерія”**

**Подається на здобуття освітнього ступеня магістр**

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело \_\_\_\_\_ Ю.О. Кравченко

**Керівник роботи**

**Борак К.В.**

**Кандидат технічних наук**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Кравченко Юрій Олександрович. Вдосконалення біогазових установок для виробництва добрив. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі запропоновано високоефективний елемент технології зброджування рідкого гною ВРХ в метантенках на основі утримування біомаси за допомогою напрямних конусів. Це дає можливість забезпечити повну гельмінтизацію і девіталізацію збродженого гною відповідно до санітарних вимог.

Відповідно до літературного огляду і проведених досліджень побудований і введений в дію дослідно-промисловий зразок біогазової установки з об'ємом реактора 65 м<sup>3</sup> для виробництва органічних добрив.

Біогазова установка виробляє органічні добрива з гною ВРХ зі знезараженням від патогенної мікрофлори і знешкоджені від насіння бур'янів. Продуктивність установки 6,5 м<sup>3</sup> добу. Режим роботи термофільний. Річний економічний ефект 269 тис. грн. Термін окупності капітальних вкладень менше 3-х років.

Результати виробничих випробувань біогазової установки на фермі ВРХ підтвердили її працездатність при високій якості одержуваних рідких добрив.

*Ключові слова: біогазова установка, добрива, технологія, біогаз, гній, дослідження.*

## ANNOTATION

**Kravchenko Yuriy Oleksandrovysh. Improvement of biogas plants for fertilizer production.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The master's thesis proposes a highly efficient element of liquid manure fermentation technology in methane tanks based on biomass retention with the help of guide cones. This makes it possible to ensure complete helminthization and devitalization of fermented manure in accordance with sanitary requirements.

In accordance with the literature review and research, a pilot plant of a biogas plant with a reactor volume of 65 m<sup>3</sup> for the production of organic fertilizers was built and put into operation.

The biogas plant produces organic fertilizers from cattle manure with disinfection from pathogenic microflora and neutralized from weed seeds. Productivity of installation is 6,5 m<sup>3</sup> a day. The mode of operation is thermophilic. Annual economic effect 269 thousand UAH. The payback period of capital investments is less than 3 years.

The results of production tests of the biogas plant on the cattle farm confirmed its efficiency with high quality liquid fertilizers.

**Key words: biogas plant, fertilizers, technology, biogas, manure, research.**

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 5  |
| РОЗДІЛ 1. БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ – НАЙБІЛЬШ ЕФЕКТИВНІ ПРИСТРОЇ<br>ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДОБРІВ.....  | 8  |
| РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ<br>РІДКИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ У РЕАКТОРАХ З НАПРАВЛЯЮЧИМИ<br>КОНУСАМИ..... | 19 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ГОСПОДАРСЬКИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНОГО<br>ЗРАЗКА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.....                                     | 28 |
| ВИСНОВКИ.....   | 33 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....   | 34 |

## ВСТУП

За останні роки в Україні значно змінився стан сільськогосподарських земель. Кількість гумусу в них різко зменшилася. Так, за даними УААНУ в даний час застосування органічних добрив на полях країни скоротилося в 8...10 разів.

У той же час необхідно відзначити, що в багатьох європейських країнах, особливо в Німеччині, Фінляндії, Голландії та ін., роль органічних добрив у справі підвищення родючості ґрунту значно зросла і фермери починають переходити на так зване «органічне землеробство».

Одним з основних видів органічних добрив є гній і послід, яких за розрахунковими даними, в країні щорічно утворюється близько 240 млн. тон.

Однак без відповідної переробки використовувати їх як добрива не рекомендується тому, що вони містять такі небезпечні забруднення як хвороботворні мікроорганізми, зародки гельмінтів, насіння бур'янів та ін.

Одним з найбільш перспективних є метод переробки гною в анаеробних умовах за допомогою біогазових установок з одночасним отриманням горючого газу метану та рідкого органічного добрива.

Однак у сучасних біогазових реакторах при обробці гною завжди мають місце проскоки необробленого гною, що веде до повторного зараження зброженої біомаси та внесенню в ґрунт насіння бур'янів і в кінцевому підсумку до зниження ефективності обробки.

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи – вдосконалення біогазової установки, що забезпечує утримання необроблених частинок біомаси шляхом установки в реактор напрямних конусів, що дозволяє повністю знезаразити органічне добриво відповідно до зоотехнічних вимог.

У відповідності з поставленою метою необхідно було вирішити наступні завдання:

- розробити технічну пропозицію щодо вдосконалення метантенків стосовно до умов виробництва органічних добрив;
- розробити лабораторну установку і провести на ній експериментальні дослідження з визначення найбільш ефективного кута нахилу напрямних конусів для отримання повністю знезаражених органічних добрив;
- створити дослідно-виробничий зразок біогазової установки і провести його випробування в господарських умовах;

**Об'єкт дослідження:** процес переробки гною за допомогою біогазових установок.

**Предмет дослідження:** біогазова установка для переробки рідкого гною ВРХ.

**Методи дослідження.** Основні дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, теплотехніки, теплофізики, хімії та механіки. Обробку експериментальних даних виконано за допомогою методів математичної статистики.

#### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Савченко В. М., **Кравченко Ю. О.** Вимоги до органічних добрив і способи їх отримання з рідкого гною. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 272-273.

2. **Кравченко Ю. О.** Експериментальні дослідження процесу отримання рідких органічних добрив у реакторах з направляючими конусами. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 173-178.

3. **Кравченко Ю. О.** Результати виробничих випробувань дослідного зразка біогазової установки. IX Міжнародної науково-технічної конференції *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020

року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впроваджені в підприємствах агропромислового комплексу, які займаються вирощуванням ВРХ.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, містить 16 таблиці і 9 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ – НАЙБІЛЬШ ЕФЕКТИВНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДОБРИВ

Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи зі створення біогазових установок в Україні почали проводитися ще 20 столітті.

Значний внесок у розвиток методу анаеробної переробки сільськогосподарських відходів внесли вчені: Амерханов Р.А., Андрюхін Т.Я., Ананіашвілі Г.Д., Архипченко І.А., Афанасьєв В.М., Бородин В.І., Гриднев П.І., Гришаєв І.Д., Понтер Л.І., Денисов В.А., Дурдибаєв С.Д., Заварзін Г.Л., Зуєв В.Л., Коваленко В.П., Ковальов Н.Г., Ковальов Л.А., Лосяков В.П., Мельник Р.А., Мерзла Г.Є., Ножевнікова А.Н., Панцхава Е.С., Пузанков А.Г., Савін В.Д., Тарасов С.І., Харламов Є.П., Цой Ю.А, Черепанов А.А., Шрамко В.М. Баадер В., Беккер М., Летінга Н., Маслич В.К., Павличенко В.П., Смирнов О.П., Упіт А.А., Федотов В.М., Ягудін Л.М. та ін [1-20]

За цей період розроблені біогазові різної продуктивності і різного конструктивного виконання.

У технічному відношенні виробництво біогазу та органічних добрив [4, 5, 20] вирішується наступними способами: класичним (рис. 1.1), де гній зі сховища безпосередньо подається в біогазовий реактор і рис. 1.2., в якому він спочатку використовується як живильне середовище для вирощування спеціально селекціонованих рослин (хлорела, водний гіацинт), а потім із залишками рослин надходить в метантенк. [1-7]



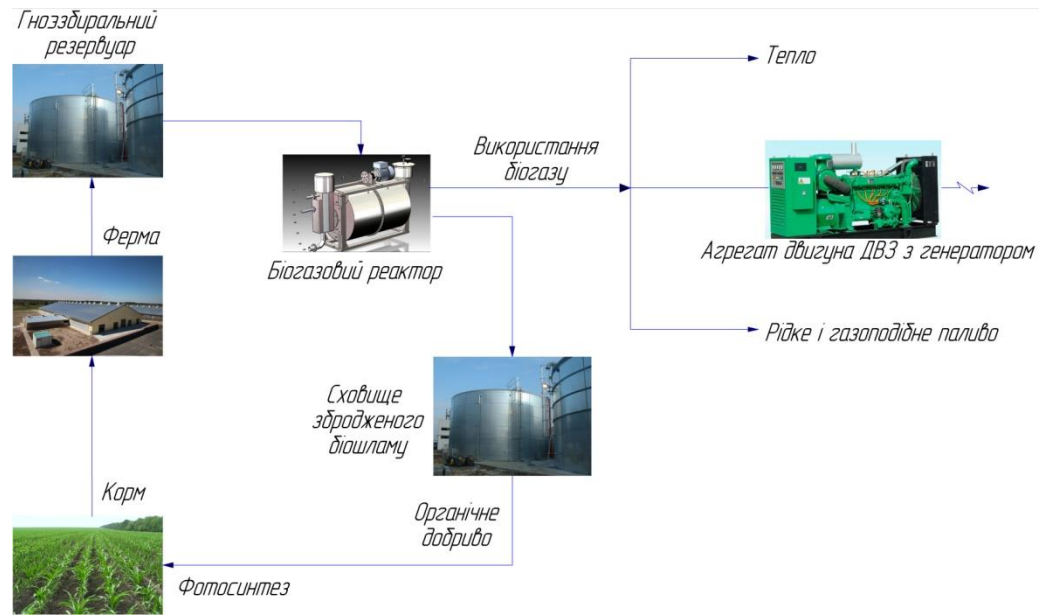


Рис. 1.8 Класичний метод отримання біогазу

За способом здійснення процесу можна виділити безперервні (проточні) системи, в яких субстрат завантажують в реакторі безперервно або через короткі відрізки часу, системи полукікличної дії [2-7].

За конструкційним виконанням метантенки можуть бути горизонтальними і вертикальними.

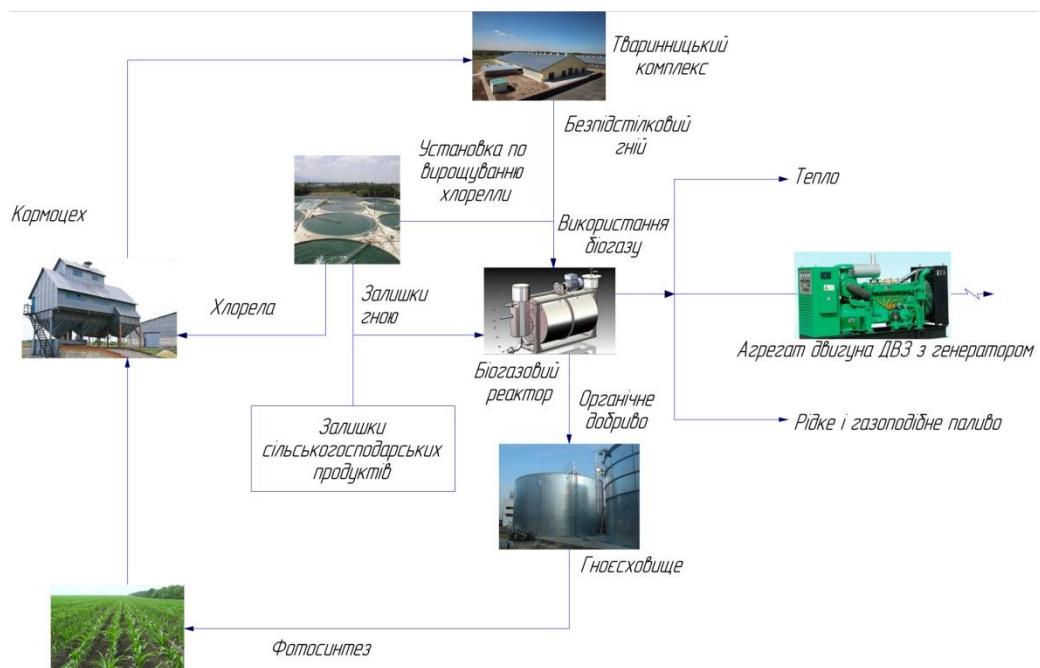


Рис. 1.2. Метод індиерентної утилізації гною

Метантенки невеликих обсягів (до  $30\text{м}^3$ ) зі склопластику економічно більш ефективно виготовляти яйцевидної або циліндричної форми з конусною верхньою і нижньою частиною.

За способом загрузки біогазові установки бувають з верхнім, нижнім і бічним завантаженням компосту. У біогазових установках вихідну масу підігрівають до заданої температури або в робочому просторі метантенки, або в живильному її пристрої.

Підведення теплоти необхідної для компенсації теплових втрат у процесі зброджування, може здійснюватися через теплообмінні нагрівальні засоби, або при прямій подачі теплової води, пари або гарячих газів під тиском в субстрат.

Конструктивно всі технологічні лінії суттєвої різниці не мають. Як правило, всі вони складаються з герметичної ємності, яка називається камерою зброджування, всередині якої монтуються різного роду теплообмінні пристрої, котельні, газгольдера, рис. 1.1. Ця принципова схема була прийнята за основу в усіх вітчизняних проектах, часто використовувалася за кордоном [7, 8] в США, ФРН, Японії, Австрії та деяких інших країнах дослідження в області переробки сільськогосподарських відходів метановим зброджуванням вийшли на промислову реалізацію. Китай займає перше місце в світі за використанням біогазу, забезпечуючи 30 % національних потреб в енергії, яким користується 3,8 % населення країни – найвищий показник у світі. Щорічно в Китаї вводиться 0,5 млн. біогазових установок загальною вартістю 25 млн. доларів. Середня ємність біореакторів становить  $5...11\text{м}^3$ , а вихід газу –  $0,16\text{ м}^3$  на добу на  $1\text{м}^3$  ємності [5]. Досягнення китайських БГУ – простота інженерного рішення і надзвичайна низька вартість, побудовані вони з доступних місцевих матеріалів, окупаються протягом року [8].

Друге місце в світі за обсягом виробництва біогазу займає Індія, в якій ще на початку 20 століття століття прийнята програма з розвитку біогазових технологій. На кінець 1986 року в було побудовано понад 1 млн. біогазових установок, при цьому добове виробництво біогазу становить від  $2,1-3,7\text{ мл.м}^3$

[5]. В Ізраїлі з 1974 року виробництвом біогазут займається «Асоціація кубуццїї індастріє» (КУА) [4, 5].

Зростаючий інтерес до використання біогазових установок проявляється в Африці. У Кенії біогазові установки використовуються з 1957 року. Активні експерименти з використанням різноманітних переваг біогазової технології проводяться в Таїланді, Індонезії, Бангладеші, Малайзії, Сінгапурі, Австрії, Алжирі, Камеруні, Верхній Вольті, Заїрі, Замбії, Ефіопії, Раунді, Сінегалс, Танзанії. Відмінною особливістю всіх метантенків, що працюють в країнах Азії, Африки та Океанії, є те, що вони розташовані під землею і в них відсутні перемішуючі та підігрівуючі пристрої. Метантенки працюють безперервно [6].

З початку 1980 року в Японії успішно функціонує близько 10 біогазових установок [5]. У 8-ми господарствах успішно працюють установки з виробництва біогазу в безперервному режимі. Всі системи працюють за однією схемою, основним недоліком яких є складне технічне устаткування і значні енергетичні витрати для приведення в дію мішалок великої довжини, розташованих у горизонтальному напрямку [9].

В Англії поставкою біогазових установок в країні займаються кілька фірм і компаній, дослідницька робота з біоконверсії енергії проводиться в рамках Програми з використання сонячної енергії. Загальна кількість діючих в Англії біогазових установок становить 52 шт [8, 2], з них 15 використовується сільськогосподарські відходи, 21 - стічні води, 7 - промислові відходи і 9 працюють на похованнях міського сміття . Англійська фірма «D Evers and Associates Ltd » створила у французькій Бретані систему «ANOX» для очищення рідкого гною худоби 22000 голів свиней, яка також впроваджена у Великобританії. В Англії розроблені і деякі інші системи. У Лондоні діє один з найбільших комплексів з переробки побутових стічних вод цього 7,5-мільйонного міста, що виробляє на рік 92 млн.м<sup>3</sup> біогазу за даними англійських фахівців [1], молочна ферма на 320 корів може сама себе забезпечити теплом, світлом і енергією. Термін окупності капітальних вкладень – 3,5 року. Кількість

енергії, яку можна отримати з відходів біомаси в Англії, оцінюється в 22,3 млн.т.у.т., з них 5 млн.т. можуть використовуватися економічно при сучасній технології і передбачалося до 2015 року за допомогою біогазу покрити всі енергетичні потреби сільського господарства[4].

Франція розглядає біотехнологію як одне з найбільш «Привілейованих напрямів науково-технічного прогресу». У 1979 р. в країні крім 4-х дослідних установок в INRA, IRCNA, і INR з оброблення відходів перегінних заводів діяли установки на 7 тваринницьких і сільськогосподарських підприємствах, у тому числі, одна з них переробляла кролячий гній. Перспективним вважається дослідний метантенк на 2,6 т. рідкого гною вологістю 92 % і 1т соломи вологістю 12 % [13]. За 1978 - 1981г.г . у Франції побудовано 125 установок виробництва біогазу з відходів тваринництва. Термін окупності конструкцій 6...9 років. У найближчі роки передбачається побудувати ще 25 установок, що дозволить утилізувати частину щорічно утворюваних відходів тваринництва в країні в кількості до 400 млн.т [7].

Функціонуюча національна компанія «BIOMAGAZ» поставляє для внутрішніх споживачів і за кордон установки газифікації біомаси. Для збирання і обробки інформації з автоматизації та інших відходів господарства створено координаційний центр CREM [2].

У Данії застосовують модульний вид будівництва метантенків об'ємом 328м<sup>3</sup>. Тут діє 15 БГУ системи Ясперс по переробці свинячого і коров'ячого гною. Режимми зброджування мезофільні 35...37 °С [5 ].

У Нідерландах біогазові установки експлуатуються на 24 фермах. Як показали дослідження. Рентабельними виявилися БЕУ при переробці стоків на фермах з мінімальною кількістю тварин не менше 100 корів і 1500 свиней [1], а використання сонячних колекторів в БГУ скоротило потреба біогазу для технологічних потреб з 3 до 8 %. Перші БГУ промислового масштабу в Нідерландах перероблятимуть близько 1,2 млн.м<sup>3</sup> на рік свинячого гною в 2-х ступінчастих біорсаторах фірми МВБ (ФРН). На установках фірми «Біосистем»

інтенсифікації процесу досягає за рахунок введення переробки зброженої маси у витримувач [43]. За повідомленнями зарубіжної преси розвиток біоенергетики приймає там індустріальний характер.

В даний час в США експлуатується 109 установок, у тому числі понад 10 великих біогазових заводів. Тут використовують найбільший метантенк для переробки гною  $11000 \text{ м}^3$  [8]. Американськими фахівцями розроблений і випробуваний газо-енергетичний блок, що дозволяє на 40 % зменшити затрати на тваринницьких комплексах. Теплова енергія в цьому блоці циркулює по замкнутій схемі, в результаті чого збільшується вихід чистої нето-енергії. У штаті Міссурі (США) ведуться випробування великомасштабної біогазової енергосистеми промислового типу. У США здійснюється комплексна утилізація біогазу та зброженого субстрату. Прикладом такого виду використання біогазу може служити система подачі  $125\,000 \text{ м}^3/\text{год}$  біогазу в газову мережу Нью-Йорка [3], і постачання газом м. Чикаго. Щодоби отримують  $45 \text{ тис. м}^3$  біогазу. Цієї кількості газу вистачає для опалення  $3,5 \text{ тис.}$  житлових будівель в Чикаго. Постачання газом міста здійснюється за допомогою спеціально побудованого газопроводу. Поступаючи в міську газову мережу біогаз попередньо очищає від вуглекислого газу, сірководню та інших домішок. Паливний газ складається на  $99,8 \%$  з метану з теплотворною здатністю  $9330 \text{ ккал/м}^3$ . Завод виробляє також кормові добавки, що містять  $12 \%$  протеїну продає їх по  $12$  доларів за  $1 \text{ т}$ . і азотовмісні органічні компости.

У м. Тржебонь (Чехія) використовується одна з найбільших у світі біоенергетичних установок температура зброджування  $38-40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Принципова технологічна схема переробки рідкого гною приведена на рис. 1.3.

В СРСР перша біоенергетична установка була введена в експлуатацію в  $1958$  р. (м. Тбілісі). Вона розрахована на утилізацію гною від  $10$  корів і складається з біогенератора, газгольдера, котельних насосів для подачі гною з ферм і рідиносховища. У біогенераторах бродиння протікає в мезофільному

режимі при температурі 32...34 °С з 1м<sup>3</sup> корисного об'єму біогенератора можна отримати за рік до 8т. зброженого гною і до 1м<sup>3</sup> за добу біогазу газу.

В дослідному господарстві Запорізької філії ІМЕСГ була побудована аналогічна за технологією, але більш потужна біоенергетична установка, розрахована на переробку органічних відходів від 1000 корів. Біогенератор виконаний з двох бетонних камер ємністю по 100м<sup>3</sup>. Зброжений гній зберігали в сховищах місткістю 250м<sup>3</sup>. Транспортування відходів на установці механізована.

У дослідному господарстві Білоруського інституту тваринництва була побудована установка по зброжуванню екскрементів для ферм на 200 голів ВРХ.

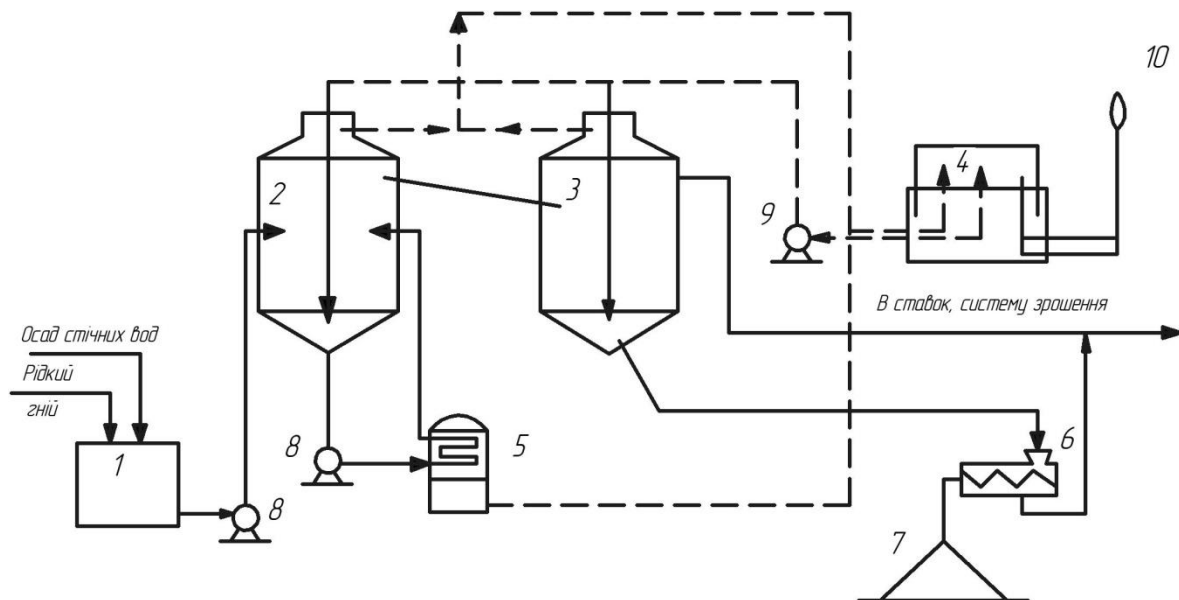


Рис. 1.3. Принципова технологічна схема системи переробки рідкого гною в метантенках на свинокомплексі «Тржебонь» (Чехія): 1 – резервуар-посередник; 2, 3 – метантенки 1 і 2 ступенів; 4 – газгольдер; 5 – котел-теплообмінник; 6 – центрифуга; 7 – тверда фракція; 8 – насоси; 9 – компресор; 10 – паливник.

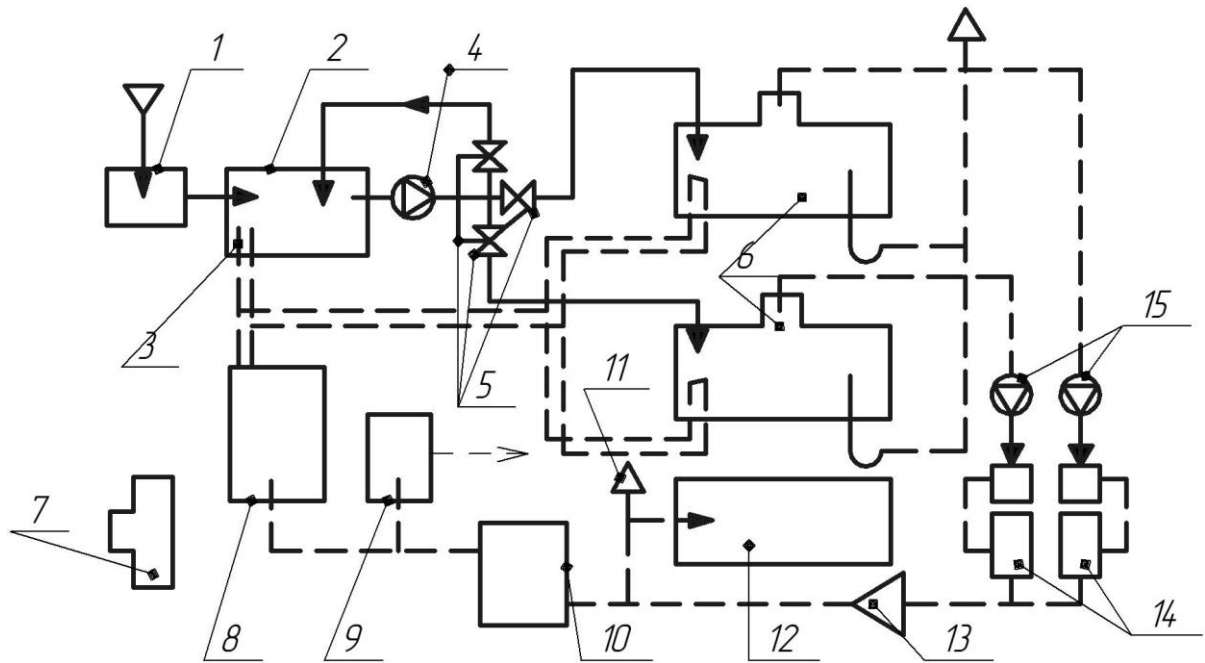


Рис. 1.4/ Технологічна схема блочно-модульного комплексу обладнання:  
 1 – подрібнювач; 2 – підігрівач-витримувач; 3 – теплообмінник; 4 – насос-дозатор; 5 – затвори; 6 – реактори; 7 – система автоматичного управління; 8 – водогрійний котел; 9 – енергоустановка; 10 – гідрозатвор; 11 – аварійне скидування біогазу; 12 – газгольдер; 13 – зворотній клапан; 14 – блок очистки біогазу; 15 – компресори біогазу.

На жаль, добрива, які одержують при анаеробній обробці гною в метантенках, не повністю відповідають зазначеним вимогам (табл. 1.1) [2,5]. Тому нами була зроблена спроба удосконалення метантенків для одержання високоякісних органічних добрив з гною, в яких немає хвороботворних мікроорганізмів і знешкоджено все насіння бур'янів.

Анаеробна обробка в біогазових установках є одним з ефективних методів обробки органічних відходів сільськогосподарського виробництва. Однак, дослідження показали, що спільним недоліком існуючих біогазових установок є той факт, що процес руху окремої частинки зброджуваної маси разом з бульбашками які утворюються по всьому об'єму метантенка біогазу від початку його надходження в метантенк до вивантаження нічим не регулюється.

У таких установках практично завжди відбуваються проскоки незбродженої та незнезараженої маси разом з масою готового добрива,

вивантаженого з метантенка. Поступив, як правило, в нижню частину метантенка рідкий гній піддається флотаційному впливу бульбашок біогазу, що утворюються по всьому об'єму метантенка, які бульбашки флотують до місця вивантаження за малий проміжок часу, за який він не може достатньо розкластися і знезаразитися. У результаті цього знижується ефективність девіталізації насіння бур'янів трав і виникає можливість повторного зараження зброженої маси невідпрацьованими гельмінтами в періоди її зберігання

Таблиця 1.1. – Характеристика вихідного і забродившого гною

| Показники                                  | Одиниці вимірювання | Вихідний гній | Забродивший гній |
|--|---------------------|---------------|------------------|
| Вміст сухої речовини в вихідному навозі    | %                   | 16,2          | 11,3             |
| Вміст загального азота                     | г/л                 | 4,6           | 4,4              |
| калія                                      | г/л                 | 0,5           | 0,44             |
| фосфора                                    | г/л                 | 0,7           | 0,65             |
| рН   |                     | 7,3           | 7,1              |
| Наявність гельмінтів                       | шт./л               | 74            | 3                |
| Мікробне число                             | млн.кл/мл           | $10^7$        | $10^5$           |
| Коли-титр                                  | шт./мл              | $10^{-7}$     | $10^{-6}$        |
| Вживаємість хвороботворних мікроорганізмів | сутки               | 40-500        | 20-100           |
| Титр ентерококків                          | шт./мл              | $10^{-5}$     | $10^{-3}$        |
| Сальмонела                                 |                     | Відсутня      | Відсутня         |
| Наявність насіння бур'янів                 | шт./мл              | 1000          | 120              |
| Нітрати                                    | мг/л                | 8,3           | 2,1              |
| Вологість гною в дослідях                  | %                   | 88,7          | 91,5             |
| Зольність, % від АОВ                       | %                   | 22,6          | 21,0             |
| Органічна речовина, % від АОВ              | %                   | 77,0          | 53,8             |
| Загальні органічні кислоти                 | мг/л                | 2430          | 215              |
| Летучі кислоти                             | мг/л                | 670           | 97               |
| Вміст клітковини в % від сухої речовини    | %                   | 19,0          | 18,7             |
| Вміст лігніна в % від сухої речовини       | %                   | 11,0          | 10,9             |
| Нітрати                                    | мг/л                | Відсутні      | Відсутні         |

Встановлено, що найбільш поширеними для виробництва добрив з рідкого гною ВРХ вологістю 89% -92%, є біогазові установки з реакторами



повного змішування в метантенках, які недостатньо повно забезпечують знезараження від гельмінтів і знешкодження від насіння бур'янів, трав які знаходяться в гною (до 95%) [19]. Ці недоліки можна усунути якщо вмонтувати в метантенк напрямні конуси, які утримують вступний інфлюенц від швидкого флотування до місця вивантаження [7].

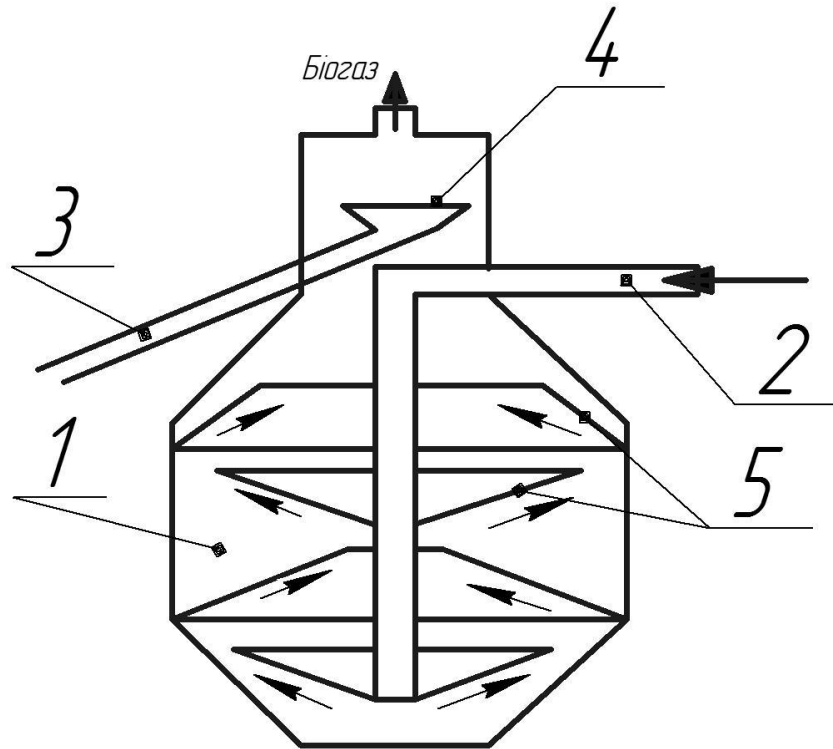


Рис. 1.12 Принципова схема метантенка

У запропонованій конструктивній схемі метантенка, представленої на рис 1.12, прийняті наступні позначення: 1 – камера збродження, 2 – система введення вихідного матеріалу, 3 – система видалення зброженого гною, 4 – газова камера, 5 – напрямні конічні поверхні.

Виходячи з цього, визначено мету та сформульовано основні завдання досліджень магістерської роботи. Мета цієї роботи – вдосконалення біогазової установки, що забезпечує утримання необроблених частинок біомаси шляхом установки в реактор напрямних конусів, що дозволяє повністю знезаразити органічне добриво відповідно до зоотехнічних вимог.

## **Висновки по розділу 1**

Виходячи з цього, визначено мету та сформульовано основні завдання досліджень магістерської роботи. Мета цієї роботи – вдосконалення біогазової установки, що забезпечує утримання необроблених частинок біомаси шляхом установки в реактор напрямних конусів, що дозволяє повністю знезаразити органічне добриво відповідно до зоотехнічних вимог.

## РОЗДІЛ 2

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ РІДКИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ У РЕАКТОРАХ З НАПРАВЛЯЮЧИМИ КОНУСАМИ

Для проведення експериментів розроблена лабораторна установка для зброджування гною, схема якої представлена на рис. 2.1. Установка складається з прозорої ємності 1, виконаної з оргскла, яка зверху закривається знімним ковпаком 2, що має патрубок 3 для виведення утвореного біогазу. Усередині ємності 1 розташовані:

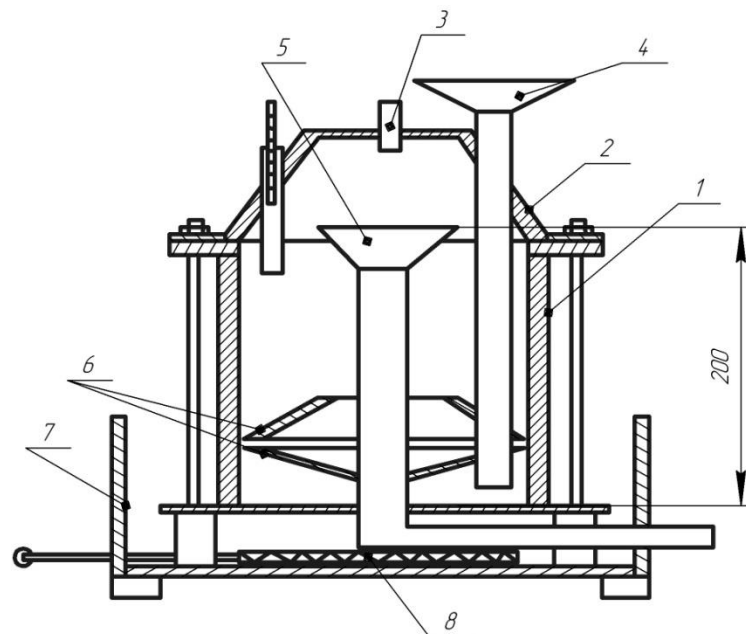


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки.

- трубка з лійкою 4 для заливання досліджуваного матеріалу, одержуваного після обробки на центрифугі вихідного гною ВРХ;
- трубка з лійкою 5 для виведення збродженої маси;
- усічені тонкостінні конуси 6, поверхня яких служить для напрямку руху спливаючих бульбашок біогазу.

Ємність 1 поміщена в ємність 7, всередині якої знаходиться рідина, що підігрівається нагрівачем 8, який має блок регулювання нагрівання. Для контролю температури всередині ємності 1 встановлено термометр 9.

Лійка 5 може зніматися, завдяки чому є можливість встановлювати і замінювати напрямні конуси.

У програму експериментальних досліджень входило:

- фізичне моделювання процесу флотації в лабораторній установці;
- визначення фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу; зфлотованої маси і зброженої частини;
- визначення швидкості підйому бульбашок біогазу;
- експериментальна перевірка теоретичних висновків і положень, викладених у розділі 2 (кут нахилу, які утворюють поверхні конуса до горизонтальної площини, швидкості підйому бульбашок біогазу);
- оцінка продуктивності установки по пульпі.

При фізичному моделюванні на лабораторній установці (моделі) відтворювалося явище – флотації із збереженням спочатку процесу фізико-механічних властивостей досліджуваного матеріалу рідкої фракції гною ВРХ, отриманого після поділу вихідного гною на фракції на центрифугі [9, 10].

Визначення фізико-механічних властивостей рідкого гною починали з встановлення вологості гною. Визначення вологості вихідного матеріалу, пульпи і сброженої частини проводиться по відомою методикою [10], відповідно до якої вологість матеріалу визначалася по залежності:

$$W = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \times 100\%, \quad (2.1)$$

де  $q_1$  – маса наважки вологого матеріалу (50 г);

$q_2$  – маса цієї ж наважки після висушування, г.

Зважування проводиться на аналітичних вагах WA-Z1 з точністю вимірювання – 10 мг. Для висушування на вагах (до постійної маси) використовується сушильна шафа 2В-15 з температурою нагріву до 105 °С. Значення щільності, динамічної в'язкості знаходяться по залежностям їх від вологості гною, які наведені в розд. 1.

Наведена на рис. 2.1 залежність коефіцієнта тертя ковзання від вологості гною, побудована на основі методу накладення шару матеріалу на похилу площину, не відображає сутності фізичного процесу руху маси з бульбашками біогазу по направляючій поверхні конуса.

Були виготовлені знімні конуси з листової сталі товщиною 0,8-1,0 мм.

При цьому кожна пара конусів має кут нахилу твірної до горизонтальної площини в діапазоні  $20^\circ \dots 40^\circ$ . У середині ємності 1 встановлюється пара конусів, після чого модель підготовляється до роботи. Ємність 1 спочатку заповнюється водою. Далі через воронку 4 заливається гній до рівня закріплення нижнього конуса.

Інтенсивне спливання бульбашок на поверхні води свідчить про правильний вибір кута нахилу твірної конуса. Коефіцієнт тертя ковзання розраховується за формулою:

$$f = tg\alpha \quad (2.2)$$

де  $\alpha$  – кут, який утворений твірною конуса і горизонтальною площиною.

Дослідно-теоретичне значення швидкості підйому бульбашок біогазу внаслідок непрозорості гнойової середовища визначається за допомогою раніше отриманої залежності.

Порядок проведення експерименту наступний. Ємність 1 заповнюється рідким гноем, вологість якого визначена перед дослідом і позначена як -  $W_{вих}$ , до рівня воронки 5, після чого вимірюється висота стовпа Н.

Встановлюється термофільний режим і фіксується час початку роботи після закінчення 5 діб, коли встановлений стабільний процес бродіння, проводиться залив 20% об'єму від початкового об'єму вихідного гною.

Одночасно з цим з ємності 1 виводиться такий же об'єм пульпи, після чого проводиться визначення вологості цієї пульпи  $W_n$  і вологості маси -  $W_{зб}$ , що залишилася в ємності.

Далі за отриманими даними розраховується середня швидкість підйому бульбашок біогазу. Даний дослід проводиться не менше 3-х разів [9].

Перевірка теоретичних рекомендацій, викладених у розділі 2, здійснювалася шляхом порівняння розрахункових значень, отриманих за цими рекомендаціями, з експериментальними даними.

Продуктивність лабораторної установки по пульпі знаходиться шляхом вимірювання товщини шару утвореної зфлотованої маси за певний проміжок часу: 10, 15 і 20 діб. З метою забезпечення можливості фіксування даного параметра використовується методика пошарового заповнення ємності 1 перед дослідом за аналогією з дослідом визначення коефіцієнта тертя ковзання пульпи, описаним вище. Дані досліди проводяться не менше 5 разів [9].

У розділі 1. наведені фізико-механічні властивості гною ВРХ: щільність, в'язкість, липкість, коефіцієнт тертя ковзання. Тому необхідні дані для розрахунків будуть прийматися з таблиць 1.1 ... 1.3.

У таблицях 2.1...2.5 показані значення вологості вихідного гною, збродженої його частини і пульпи. При цьому значення вологості вихідного гною знаходилося в діапазоні  $W_{вих} = 91 \dots 95\%$ . Після здійснення процесу зброджування в термофільному режимі ( $t = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ , час витримування – 5 діб) вимірювалася вологість збродженого гною, а після додавання порції вихідного гною і виведення пульпи проводився вимір її вологості.

Таблиця 2.1 – Визначення вологості матеріалів

| Матеріал                 | № проби | Маса бюкса, ρ, г | Маса наважки з бюксом до сушки ρ <sup>1</sup> , г | Маса наважки до сушки ρ <sup>1</sup> = ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> , г | Маса наважки з бюксом після сушки, г |  |                             | Маса наважки після сушки, г ρ <sup>2</sup> = ρ <sup>2</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> | Вологість наважки $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%$ | Середня вологість W <sub>ср</sub> , % |
|--------------------------|---------|------------------|---|---|--------------------------------------|--|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|
|                          |         |                  |   |   | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub>          | ρ <sup>1</sup> <sub>1</sub> <sub>2</sub> | ρ <sup>n</sup> <sub>2</sub> |   |   |                                       |
| Вихідний гній ВРХ        | 111     | 14,42            | 44,21   | 29,19   | 20,06                                | 18,32                                    | 17,81                       | 3,49  | 88,9  | 91,0                                  |
|                          | 276     | 14,66            | 51,06   | 36,40   | 19,14                                | 17,84                                    | 18,46                       | 3,80  | 91,1  |                                       |
|                          | 266     | 14,46            | 48,32   | 33,86   | 20,08                                | 18,13                                    | 17,92                       | 3,46  | 91,0  |                                       |
| Пульпа (зфлотована маса) | 206     | 14,35            | 42,55   | 28,20   | 20,11                                | 18,56                                    | 17,71                       | 3,36  | 88,5  | 88,5                                  |
|                          | 240     | 14,20            | 46,36   | 32,16   | 20,14                                | 18,68                                    | 17,74                       | 3,54  | 88,8  |                                       |
|                          | 276     | 14,66            | 49,43   | 34,77   | 20,64                                | 19,36                                    | 18,63                       | 3,97  | 88,1  |                                       |
| Зброджуваний гній        | 218     | 14,08            | 50,02   | 35,94   | 19,83                                | 18,53                                    | 17,72                       | 3,64  | 89,9  | 91,3                                  |
|                          | 111     | 14,42            | 52,36   | 37,86   | 20,15                                | 19,04                                    | 18,26                       | 3,84  | 91,3  |                                       |
|                          | 240     | 14,20            | 51,41   | 37,21   | 20,11                                | 18,46                                    | 17,61                       | 3,41  | 91,7  |                                       |

Таблиця 2.2 – Визначення вологості матеріалів

| Матеріал                 | № проби | Маса бюкса, ρ, г | Маса наважки з бюксом до сушки ρ <sup>1</sup> , г | Маса наважки до сушки ρ <sup>1</sup> = ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> , г | Маса наважки з бюксом після сушки, г |                             |                             | Маса наважки після сушки, г ρ <sup>2</sup> = ρ <sup>2</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> | Вологість наважки $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%$ | Середня вологість W <sub>ср</sub> , % |
|--------------------------|---------|------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|
|                          |         |                  |   |   | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub>          | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> | ρ <sup>2</sup> <sub>2</sub> |   |   |                                       |
| Вихідний гній ВРХ        | 240     | 14,2             | 49,92   | 35,72   | 18,22                                | 18,22                       | 17,32                       | 3,12  | 91,5  | 91,3                                  |
|                          | 111     | 14,42            | 51,86   | 37,44   | 19,01                                | 18,64                       | 17,84                       | 3,11  | 90,7  |                                       |
|                          | 206     | 14,35            | 50,12   | 35,77   | 18,62                                | 17,96                       | 17,22                       | 2,87  | 91,7  |                                       |
| Пульпа (зфлотована маса) | 276     | 14,66            | 42,26   | 27,60   | 19,21                                | 18,52                       | 17,46                       | 2,80  | 89,0  | 88,8                                  |
|                          | 266     | 14,46            | 43,51   | 29,05   | 19,16                                | 18,41                       | 17,41                       | 2,95  | 88,6  |                                       |
|                          | 206     | 14,35            | 42,84   | 28,49   | 19,35                                | 18,32                       | 17,14                       | 2,79  | 89,1  |                                       |
| Зброджуваний гній        | 218     | 15,08            | 50,32   | 35,24   | 19,64                                | 19,02                       | 17,92                       | 2,84  | 91,9  | 91,6                                  |
|                          | 111     | 14,42            | 49,85   | 35,43   | 19,38                                | 18,96                       | 17,55                       | 3,13  | 91,4  |                                       |
|                          | 266     | 14,46            | 49,93   | 34,47   | 19,43                                | 19,06                       | 17,93                       | 3,47  | 91,5  |                                       |

Таблиця 2.3 – Визначення вологості матеріалів

| Матеріал                 | № проби | Маса бюкса, ρ, г | Маса наважки з бюксом до сушки ρ <sup>1</sup> , г | Маса наважки до сушки ρ <sup>1</sup> = ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> , г | Маса наважки з бюксом після сушки, г |                             |                             | Маса наважки після сушки, г ρ <sup>2</sup> = ρ <sup>2</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> | Вологість наважки $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%$ | Середня вологість W <sub>ср</sub> , % |
|--------------------------|---------|------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|
|                          |         |                  |   |   | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub>          | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> | ρ <sup>2</sup> <sub>2</sub> |   |   |                                       |
| Вихідний гній ВРХ        | 111     | 14,42            | 49,66   | 35,24   | 19,33                                | 17,19                       | 17,18                       | 2,76  | 92,01   | 92,08                                 |
|                          | 206     | 14,35            | 52,92   | 38,57   | 22,46                                | 17,25                       | 17,20                       | 2,85  | 92,26   |                                       |
|                          | 218     | 14,08            | 56,78   | 42,70   | 28,11                                | 17,33                       | 17,23                       | 3,15  | 91,96   |                                       |
| Пульпа (зфлотована маса) | 111     | 14,42            | 51,85   | 37,43   | 39,85                                | 19,60                       | 19,58                       | 5,16  | 89,2  | 89,1                                  |
|                          | 206     | 14,35            | 53,13   | 38,78   | 32,74                                | 19,85                       | 19,82                       | 5,47  | 88,9  |                                       |
|                          | 266     | 14,46            | 49,68   | 35,22   | 28,19                                | 19,37                       | 19,35                       | 4,89  | 89,1  |                                       |
| Зброджуваний гній        | 218     | 14,08            | 48,33   | 34,25   | 26,12                                | 16,68                       | 16,66                       | 2,58  | 92,3  | 92,4                                  |
|                          | 140     | 14,20            | 43,36   | 29,16   | 21,78                                | 16,63                       | 16,62                       | 2,41  | 92,6  |                                       |
|                          | 276     | 14,46            | 45,72   | 31,06   | 24,65                                | 17,18                       | 17,16                       | 2,50  | 92,4  |                                       |

Таблиця 2.4 – Визначення вологості матеріалів

| Матеріал                  | № проби | Маса бюкса, ρ, г | Маса наважки з бюксом до сушки ρ <sup>1</sup> , г | Маса наважки до сушки ρ <sup>1</sup> = ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> , г | Маса наважки з бюксом після сушки, г |                              |                             | Маса наважки після сушки, г ρ <sub>2</sub> = ρ <sup>n</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> | Вологість наважки $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%$ | Середня вологість W <sub>ср</sub> , % |
|---------------------------|---------|------------------|---|---|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|
|                           |         |                  |   |   | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub>          | ρ <sup>11</sup> <sub>2</sub> | ρ <sup>n</sup> <sub>2</sub> |   |   |                                       |
| Вихідний гній ВРХ         | 240     | 14,2             | 47,21   | 33,01   | 19,45                                | 16,52                        | 16,39                       | 2,19  | 93,3  | 93,1                                  |
|                           | 206     | 14,35            | 45,68   | 31,33   | 20,81                                | 17,02                        | 16,48                       | 2,13  | 93,2  |                                       |
|                           | 218     | 15,08            | 46,22   | 32,14   | 22,24                                | 16,58                        | 16,42                       | 3,34  | 92,8  |                                       |
| Пульпа (зфлотова на маса) | 111     | 14,42            | 51,35   | 36,93   | 21,05                                | 19,11                        | 18,08                       | 3,66  | 90,1  | 90,2                                  |
|                           | 240     | 14,35            | 49,72   | 35,52   | 22,14                                | 18,01                        | 17,82                       | 3,35  | 90,2  |                                       |
|                           | 276     | 14,66            | 52,13   | 37,47   | 21,56                                | 16,5                         | 15,87                       | 3,62  | 89,8  |                                       |
| Зброджуваний гній         | 206     | 14,35            | 41,15   | 26,80   | 18,91                                | 16,82                        | 16,10                       | 1,75  | 93,6  | 93,5                                  |
|                           | 266     | 14,46            | 43,26   | 28,80   | 19,02                                | 16,39                        | 16,16                       | 1,70  | 93,7  |                                       |
|                           | 111     | 14,42            | 44,08   | 29,66   | 19,13                                | 17,53                        | 16,38                       | 1,96  | 93,2  |                                       |

Таблиця 2.5 – Визначення вологості матеріалів

| Матеріал                  | № проби | Маса бюкса, ρ, г | Маса наважки з бюксом до сушки ρ <sup>1</sup> , г | Маса наважки до сушки ρ <sup>1</sup> = ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> , г | Маса наважки з бюксом після сушки, г |                              |                             | Маса наважки після сушки, г ρ <sub>2</sub> = ρ <sup>n</sup> <sub>2</sub> - ρ <sub>6</sub> | Вологість наважки $\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%$ | Середня вологість W <sub>ср</sub> , % |
|---------------------------|---------|------------------|---|---|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|
|                           |         |                  |   |   | ρ <sup>1</sup> <sub>2</sub>          | ρ <sup>11</sup> <sub>2</sub> | ρ <sup>n</sup> <sub>2</sub> |   |   |                                       |
| Вихідний гній ВРХ         | 206     | 14,35            | 46,36   | 32,01   | 17,02                                | 16,81                        | 15,93                       | 1,58  | 95,2  | 94,8                                  |
|                           | 218     | 15,08            | 48,15   | 33,07   | 18,96                                | 18,32                        | 17,15                       | 2,07  | 94,4  |                                       |
|                           | 111     | 14,42            | 50,22   | 35,80   | 17,68                                | 17,05                        | 16,22                       | 1,80  | 94,6  |                                       |
| Пульпа (зфлотова на маса) | 276     | 14,66            | 39,82   | 25,16   | 17,92                                | 17,03                        | 16,52                       | 1,86  | 92,5  | 92,6                                  |
|                           | 240     | 14,20            | 38,45   | 24,20   | 18,03                                | 17,12                        | 16,35                       | 2,15  | 92,2  |                                       |
|                           | 266     | 14,46            | 39,14   | 24,68   | 17,98                                | 16,96                        | 15,94                       | 1,48  | 92,9  |                                       |
| Зброджуваний гній         | 240     | 14,20            | 51,43   | 37,23   | 18,03                                | 16,84                        | 16,02                       | 1,82  | 95,4  | 95,3                                  |
|                           | 266     | 14,46            | 49,12   | 34,66   | 18,26                                | 17,53                        | 16,92                       | 2,46  | 94,9  |                                       |
|                           | 276     | 14,66            | 50,41   | 35,75   | 17,95                                | 17,02                        | 16,22                       | 1,56  | 95,5  |                                       |

Результати вимірювання кожної фракції гною здійснювалося три рази, після чого знаходилося середнє значення кожної фракції.

З наведених таблиць 3.1...3.5 видно, що вологість пульпи нижче, ніж вологість вихідного гною, а вологість збродженої його частини вище останньої.



Графічно зазначені швидкості представлені на рис. 2.2, з якого видно, що зі збільшенням вологості вихідного гною швидкість підйому бульбашок біогазу істотно зростає. Отримані значення цих швидкостей суттєво відрізняються одна від одної. Це пояснюється існуванням великої кількості змінних в часі чинників, визначення яких ускладнено (діаметр бульбашок біогазу, динамічна в'язкість вихідного матеріалу і його щільність і т.д.).

Таблиця 2.6 – Визначення теоретичної швидкості підйому бульбашок біогазу

| Позначення   | Досліди             |                     |                     |                     |                      |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|  | 1                   | 2                   | 3                   | 4                   | 5                    |
| $r, \text{м}$  | $5 \cdot 10^{-4}$   | $5 \cdot 10^{-4}$   | $5 \cdot 10^{-4}$   | $5 \cdot 10^{-4}$   | $5 \cdot 10^{-4}$    |
| $r^2, \text{м}^2$                                    | $25 \cdot 10^{-8}$  | $25 \cdot 10^{-8}$  | $25 \cdot 10^{-8}$  | $25 \cdot 10^{-8}$  | $25 \cdot 10^{-8}$   |
| $\mu, \frac{\dot{I}}{i^2} \cdot \tilde{n}$           | 0,3                 | 0,3                 | 0,1                 | 0,08                | 0,05                 |
| $\frac{r^2 \rho_r g}{4}, \frac{\dot{I}}{i}$          | $6,2 \cdot 10^{-6}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$  |
| $V = \frac{r^2 \rho_r g}{4\mu}, \frac{i}{\tilde{n}}$ | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$ | $7,5 \cdot 10^{-6}$ | $12,0 \cdot 10^{-5}$ |

Таблиця 2.7 – Визначення дослідно-теоретичної швидкості підйому бульбашок

| Найменування                                 | Досліди              |                      |                     |                     |                   |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
|  | 1                    | 2                    | 3                   | 4                   | 5                 |
| $W_{поч}$                                    | 91,0                 | 91,3                 | 92,08               | 93,1                | 94,8              |
| $W_n$  | 88,5                 | 89,8                 | 89,1                | 90,2                | 92,6              |
| $W_{зб}$                                     | 91,3                 | 91,6                 | 92,4                | 93,5                | 95,3              |
| $W_{зб} - W_{поч}$                           | 0,3                  | 0,31                 | 0,32                | 0,4                 | 0,5               |
| $W_{зб} - W_n$                               | 2,8                  | 2,8                  | 3,3                 | 3,3                 | 2,7               |
| $\frac{W_{ca} - W_{i\dot{z}}}{W_{ca} - W_i}$ | 0,11                 | 0,11                 | 0,1                 | 0,12                | 0,18              |
| $\frac{\rho_{i\dot{z}}}{\rho}$               | $10^3$               | $10^3$               | $10^3$              | $10^3$              | $10^3$            |
| $\frac{\dot{I}}{\dot{O}}$                    | $4 \cdot 10^{-7}$    | $4 \cdot 10^{-7}$    | $4 \cdot 10^{-7}$   | $4 \cdot 10^{-5}$   | $4 \cdot 10^{-7}$ |
| $V_p$  | $4,84 \cdot 10^{-5}$ | $4,84 \cdot 10^{-5}$ | $4,4 \cdot 10^{-5}$ | $5,3 \cdot 10^{-5}$ | $4 \cdot 10^{-5}$ |

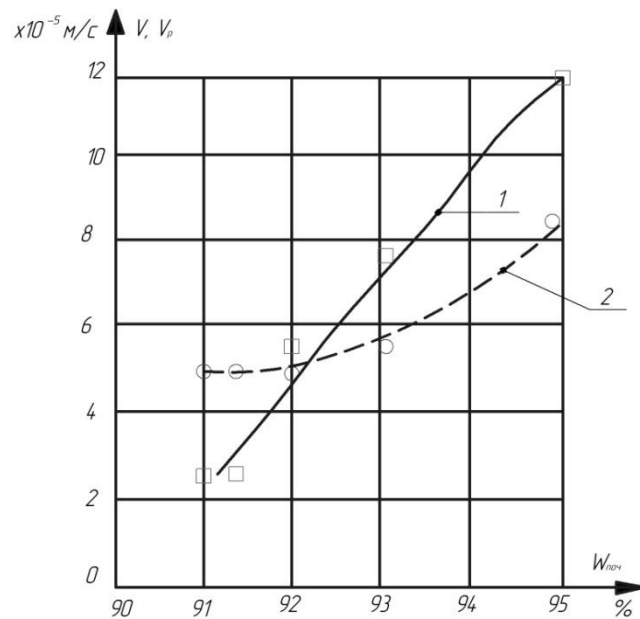


Рис. 2.2. Залежність швидкості підйому бульбашок біогазу від вологості гною: 1 – теоретична, 2 – дослідно-теоретична.

Визначення кута нахилу твірної конуса.

Непрозорість гнойової маси ускладнює можливість спостереження за процесом флотації в даному середовищі. Тому був запропонований метод пошарового заповнення камери зброджування лабораторної установки. Спочатку камера заповнюється рідким гноєм, який витісняє воду. Такий метод дає можливість спостерігати рух бульбашок біогазу особливо при кутах нахилу твірної конуса менше  $30^\circ$ . Дана обставина дуже важлива, так як при кутах менше  $30^\circ$  відбувається початок формування процесу руху бульбашок по похилій поверхні направляючого конуса.

Результати експериментів наведені в таблиці 3.8, з якої видно, що при куті нахилу твірної конуса  $\alpha = 35^\circ$  і вище спостерігається стійкий процес спливання бульбашок біогазу. При цьому величина коефіцієнта тертя ковзання бульбашок по похилій площині поверхні конуса склала  $f = 0,7$ . Як представлено на рис. 1.2, коефіцієнт тертя ковзання при вологості гною в діапазоні 91 ... 95% змінюється від 0,4 до 0,2. Ці величини значно менше величини  $f = 0,7$ , отриманої дослідним шляхом, що вказує на не адекватність фізичних процесів ковзання гнойової маси зовні похилої поверхні, ніж з внутрішньої її сторони.

Для гною ВРХ в діапазоні вологості 91 ... 95% визначено коефіцієнт тертя ковзання рівний  $f = 0,7$ .

Таблиця 2.8 – До визначення кута нахилу направляючого конуса

| Вологість гною, % | Кут нахилу утворюючої конуса $\alpha$ , град | Примітка                                       |
|-------------------|--|--|
| 93,1              | 20   | Відсутність руху бульбашок біогазу, що спливає |
| 93,1              | 25   | Рух рідких бульбашок                           |
| 93,1              | 30   | Нестійкий процес руху бульбашок                |
| 93,1              | 35   | Стійкий інтенсивний процес руху бульбашок      |
| 93,1              | 40   | Стійкий інтенсивний процес руху бульбашок      |

## Висновки по розділу 2

Розроблено фізичну модель (лабораторна установка) метантенка з напрямними конусами об'ємом 6,5 л.

Експериментально на лабораторній установці визначена швидкість руху біомаси по похилій поверхні конуса ( $V = 0,22\text{м/год}$ ). Розбіжність експериментальних значень з теоретичними не перевищує 15%.

Встановлено кут нахилу утворюючих конусних поверхонь, мінімальне значення якого дорівнює  $20^\circ$  для початкової вологості гною 93% та встановлено його залежність при обробці гною з різною вологістю  $\alpha(\arctgf / (1 - 1,1\rho_a / \rho))$ .

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Випробування проводились на фермі із середньорічним утриманням 5800 голів і щорічним виходом рідкого гною вологістю 89...90% близько 58 тисяч тонн. У такій кількості гною міститься: азоту (N) – 185т, фосфату ( $P_2O_5$ ) -104 т, калію ( $K_2O$ ) - 290 т. Існуюча технологія використання гною передбачає зберігання його протягом 6 місяців у відкритих гноєсховищах і подальшим внесенням як добриво на пасовища, площа яких становить 858 га.

Частина рідкого гною змішується з іншими органічними відходами господарства на майданчику з твердим покриттям і також використовується на сільськогосподарських угіддях, загальна площа яких становить 5401 га.

Щорічні втрати загального азоту при існуючій технології використання гною становить близько 75 тонн. Крім того, такий гній засіяний насінням бур'янів, хвороботворними мікроорганізмами та іншими забрудненнями.

З метою отримання високоякісних органічних добрив з гною ВРХ в даний час введена в дію дослідна біогазова установка продуктивністю 6,5 тонн на добу з об'ємом реактора  $65\text{ м}^3$ , загальний вигляд якої зображений на рис.3.1.

Технічні характеристики біогазової установки та умови випробувань наведені в табл. 3.1. та 3.2.

Таблиця 3.1 – Умови анаеробної переобки і показники метантенка біогазової установки

| Показники  | Дослідне поло            |
|--|--------------------------|
| Роки проведення досліджень                           | 2013-2014                |
| Вид гною   | Гній ВРХ                 |
| Кількість і об'єм метантенків в біогазовій установці | $1 \times 65\text{ м}^3$ |
| Температура зброджування, °С                         | 53...55                  |
| Час витримування гною в метантенку, доб.             | 10                       |
| Режим зброджування                                   | Неперервний термофільний |

Таблиця 3.2 – Умови проведення польових досліджень

| Показники                               | Дослідне поле      |
|---|--------------------|
| Тип ґрунту                              | Дерново-підзолиста |
| Механічний склад ґрунту                 | Супіщана           |
| pH                                      | 5,2...6,0          |
| Вміст гумусу, %                         | 1,5                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г | 9,7...17,5         |
| K <sub>2</sub> O, мг/100г               | 8,4...15,4         |

Оцінка удобрювальних властивостей збродженого гною здійснювалася після внесення його на поля.

Програмою випробувань передбачалося:

1. Приготування вихідного гною для виробництва рідких добрив в біогазовій установці. Вихідний гній повинен мати вологість в межах 90...92%.

2. Здійснення процесу анаеробного зброджування в термофільному ( $t = 53...55^{\circ}\text{C}$ ) і продуктивності в діапазоні 6,5...7 т/добу.

3. Одержання проб вихідного і збродженого гною при вище вказаних умовах і передача цих проб спеціалізованим організаціям для їх оцінки за поживними властивостям і знезараженню від насіння бур'янів, гельмінтів та хвороботворних мікроорганізмів.

4. Визначення динаміки виходу біогазу при зброджуванні вихідного гною вологістю 91% і температурах 53...55С.

Методика даної роботи включала:

- вимірювання добової дози завантаження (об'ємним методом по рівноміру, встановленому в дозаторі);

- визначення а.с.р. (абсолютно сухої речовини), висушування в термостаті при температурі 100...105°C протягом 6-10 годин до постійної маси;

- визначення о.р. (органічної речовини), визначається по різниці між а.с.р. і зольним залишком, отриманим при прожаренні проби в муфельній печі при 600°C протягом однієї години;

- вимірювання pH проводилося на pH літрі моделі 340 при легкому перемішуванні субстрату;

- визначення вмісту азоту та фосфору на автоматичному аналізаторі «Технікою» (модель р2, варіант 2), вміст калію вимірювалося за допомогою методу полум'яної спектрометрії при випромінюванні;
- контролювання виходу біогазу здійснювалося ротаційним газовим лічильником;
- визначення якісного складу біогазу (% вмісту  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$ ) виконували методом газо-адсорбційної хроматографії, в якій нерухомою фазою є тверде тіло-абсорбент, і поділ відбувалося за рахунок різної абсорбованості компонентів суміші.

Визначення експлуатаційної надійності біогазової установки зводилося до випробування агрегатів, механізмів і вузлів установки з рухом технологічних потоків по замкнутих контурах (нагрівання, завантаження і вивантаження гною, відвід газової фази, частота включень обладнання і перемикачів потоків).

Результати польових випробувань дослідного зразка.

Результати випробувань біогазової установки по знезараженню гною від хвороботворних мікроорганізмів, насіння бур'янів і яєць гельмінтів показали, що при температурі  $53...55^\circ\text{C}$  і продуктивності 6,5 т/добу відбувається повне знезараження гною від вищевказаних забруднень.

При продуктивності установки понад 6,5 т/добу по добривам спостерігаються проскоки незнезараженого гною, що дозволяє при даній конструкції рекомендувати збільшити продуктивність по зброджуваному гною понад 6,5 т/добу, що дозволяє забезпечувати гарантоване знезараження гною від забруднень при отриманні рідких високоякісних органічних добрив.

Дані по поживній цінності збродженого гною також представлені в табл. 3.3, які показують, що при обробці гною методом анаеробного зброджування в розробленій біогазовій установці, вміст азоту, фосфору і калію, як основних елементів добрива, повністю зберігаються при всіх режимах зброджування і знаходяться в межах: азот – 0,41...0,45%; фосфору – 0,21%; калій – 0,34%.

Таблиця 3.3 – Вплив метанового збродження на зміну санітарних і агрохімічних показників гною ВРХ

| № | Температура, °С |                | Продуктивність по добриву, | Кількість бактерій тис. в см <sup>3</sup> | Кількість житездатних | Кількість житездатних | Вологість | Реакція | Азот N, % | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |      |
|---|-----------------|----------------|----------------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------|---------|-----------|-------------------------------|------|
|   | Вихідний гній   | Зроджений гній |                            |   |                       |                       |           |         |           |                               |      |
|   | 1               | 2              | 3                          | 4   | 5                     | 6                     | 7         | 8       | 9         | 10                            | 11   |
| 1 | 18              |                |                            | 7500                                      | 17                    | 12                    | 91,0      | 7,2     | 0,45      | 0,21                          | 0,34 |
| 2 | 18              | 53             | 7,0                        | 300                                       | 6                     | 0                     | 90,2      | 7,4     | 0,44      | 0,20                          | 0,34 |
| 3 | 18              |                |                            | 6200                                      | 21                    | 8                     | 91,0      | 7,3     | 0,42      | 0,21                          | 0,34 |
| 4 | 18              | 55             | 6,7                        | 18  | 3                     | 0                     | 90,4      | 7,6     | 0,41      | 0,21                          | 0,34 |
| 5 | 18              |                |                            | 7300                                      | 22                    | 11                    | 91,0      | 7,3     | 0,45      | 0,21                          | 0,34 |
| 6 | 18              | 53             | 6,5                        | Менше 1 рост по тиску                     | 0                     | 0                     | 90,3      | 7,6     | 0,44      | 0,21                          | 0,34 |
| 7 | 18              |                |                            | 6800                                      | 18                    | 11                    | 91,0      | 7,1     | 0,43      | 0,21                          | 0,34 |
| 8 | 18              | 55             | 6,5                        | Менше 1 рост по тиску                     | 0                     | 0                     | 92,0      | 7,5     | 0,43      | 0,21                          | 0,34 |

Таблиця 3.4 – Залежність інтенсивності газових виділень від продуктивності біогазової установки

| № | Температура процесу °С | Продуктивність по гною, т/добу | Вологість гною, % | Кількість АСВ в гної, кг | Кількість органічних речовин. кг | Ступінь розкладання органічної речовини, % | Вихід біогазу м <sup>3</sup> /добу |
|---|------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|
|   | 1                      | 2                              | 3                 | 4                        | 5                                | 6  | 7                                  |
| 1 | 53                     | 7,0                            | 91                | 630                      | 516                              | 38,0                                       | 196                                |
| 2 | 53                     | 6,7                            | 91                | 603                      | 494                              | 39,0                                       | 192                                |
| 3 | 53                     | 6,5                            | 91                | 585                      | 479                              | 40,0                                       | 191                                |
| 4 | 53                     | 6,2                            | 91                | 560                      | 458                              | 41,0                                       | 188                                |
| 5 | 55                     | 7,0                            | 91                | 630                      | 516                              | 35,8                                       | 198                                |
| 6 | 55                     | 6,7                            | 91                | 603                      | 494                              | 39,6                                       | 195                                |
| 7 | 55                     | 6,5                            | 91                | 585                      | 479                              | 40,5                                       | 194                                |
| 8 | 55                     | 6,2                            | 91                | 560                      | 458                              | 41,6                                       | 190                                |

Дані показники підтверджуються дослідженнями, проведеними агрохімічної лабораторії.

Результати випробувань установки по інтенсивності газовиділення і ступеня розкладання органічної речовини залежно від продуктивності по зброджену гною представлені в табл. 3.4., з яких випливає, що інтенсивність газовиділення із зростанням продуктивності зростає, а ступінь розкладання органічної речовини зменшується. Зброджений гній в порівнянні з вихідним гноем містить значно менше токсичних сполук: рухомих форм важких металів, речовин з неприємним запахом (табл. 3.5.).

Таблиця 3.5 – Вплив анаеробної переробки гною на вміст рухомих форм важких металів, речовин з неприємним запахом

| З'єднання речовини | Зменшення процентного вмісту |
|--------------------|------------------------------|
| Феноли             | 96%                          |
| Крезол «П»         | 90%                          |
| Скатол             | 21%                          |
| Масляна кислота    | 97%                          |
| $Cu_{рух}$         | 78%                          |
| $Zn_{рух}$         | 86%                          |
| $Ni_{рух}$         | 77%                          |
| $Co_{рух}$         | 82%                          |
| $C_{рух}$          | 94%                          |

### Висновки по розділу 3

Результати попередніх випробувань ефективності застосування зброженого гною показали, що підгодівля цим добривом рослин картоплі підживлення врожайність бульб на 30%, підживлення багаторічних злакових газонних трав підвищила врожайність зеленої маси в 1,3 рази, підживлення розсади збільшила висоту рослин капусти і томатів на 12...15%, біомаси на 30...50%.



## ВИСНОВКИ

На тваринницьких фермах ВРХ країни при підстилочному триманні тварин щорічно утворюється близько 0,6 млрд. Тонн гною. Застосування анаеробного методу для переробки рідкого гною дозволить прискорити його розкладання, при цьому досягається загибель гельмінтів, хвороботворних мікроорганізмів і насіння бур'янів, знижується запах, а також отримуються продукти переробки в вигляді стабілізованих добрив і газоподібного палива-біогазу.

Запропоновано вискоефективний елемент технології зброджування рідкого гною ВРХ в метантенках на основі утримування біомаси за допомогою напрямних конусів. Це дає можливість забезпечити повну гельмінтизацію і девіталізацію зброженого гною відповідно до санітарних вимог.

Побудований і введений в дію дослідно-промисловий зразок біогазової установки з об'ємом реактора 65 м<sup>3</sup> для виробництва органічних добрив.

Біогазова установка виробляє органічні добрива з гною ВРХ зі знезараженням від патогенної мікрофлори і знешкоджені від насіння бур'янів. Продуктивність установки 6,5 м<sup>3</sup> добу. Режим роботи термофільний. Річний економічний ефект 269 тис. грн. Термін окупності капітальних вкладень менше 3-х років.

Результати виробничих випробувань біогазової установки на фермі ВРХ підтвердили її працездатність при високій якості одержуваних рідких добрив.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гелетуха Г. АПК и «зеленая» энергетика: проблемы и перспективы. *Корми і факти*. 2015. №3 (55). С. 30 – 31.
2. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз існуючих багатошарових захисних конструкцій біогазових установок. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип.4. Т.1. С. 88-94.
3. Ковалёв А. А., Филаретов А. И. Производство нетрадиционных удобрений методом биоферментации. *Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии*. 2002. С.173-175.
4. Артамонов В. Н. Биотехнология – агропромышленному комплексу. Москва : Наука, 1989. 115.
5. Ковалёв А. А., Ножевникова А. Н. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения. Москва : Знание, 1990. 49с.
6. Хажмурадов М. А. Установка та технологія по утилізації біогазу. *Наука та інновації*. 2006. № 4. С. 19.
7. Калетнік Г. М., Здирко Н. Г., Фабіянська В. Ю. Біогаз в домогосподарствах – запорука енергонезалежності сільських територій України. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2018. № 8. С. 7-22. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp\\_2018\\_8\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3).
8. Чернышов А.А. Параметры биогазовой установки для сбраживания отходов животноводства. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 2004. С. 76-84.
9. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.
10. Яремчук О. С. Теоретичні аспекти застосування біотехнологій утилізації відходів тваринницьких підприємств в умовах закритої зооекосистеми: автореф. дис..... докт. с.-г. наук: 16.00.06. Харків: ХНУСГ ім..

П. Васлинка. 2013. 42 с.

11. Лысенко В. П. Микробиологические и химические процессы при использовании органических удобрений *Ефективне птахівництво*. 2015. №2 (122). С. 44 – 48.

12. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.

13. Матвеев Ю. Б. Обзор биогазовых проектов в Украине и перспективы их развития. Биоэнергетическая ассоциация Украины: Біогаз - шанс для енергетичної незалежності України і її європейської інтеграції. Київ, 2012 р. [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <http://uabio.org/img/files/news/pdf/matveev.pdf>

14. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2005 № 8. С. 52 – 60.

15. Поліщук В. М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. Київ*, 2013. № 185. Ч. 3 С. 180-191.

16. Hashimoto A. G. Methane from cattle waste. *Biotechnologie & Bioengineering*. 1982. Vol. 24, № 9. P. 2039 –2052.

17. Вербицький П. Утилізація відходів тваринного походження в Україні. *Тваринництво України*. 2008. № 5. С. 2–6.

18. Стребков Д. С., Ковалев А. А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. *Техника и оборудование для села*. 2006. №11. С. 28–30.

19. Шрамков В. М., Савин В. Д. Переработка органических отходов в удобрение и биогаз. <http://agio,sakha.ru/docs/iks0028.htm>.

20. Шацький В. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Солodka О. О. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т.3. С. 3-12.

21. Ратушняк Г. С. Автоматичне управління в системах біоконверсії. *Вісник ВПІ*. 2006. № 6. С. 116 –121.