

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С. З. ГЖИЦЬКОГО

На правах рукопису

МАКСІШКО Леся Михайлівна

УДК 504.064.4:658.567.3

**ЕКОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЕРОБНОЇ ПЕРЕРОБКИ
Й УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СВИНАРСТВА І ПТАХІВНИЦТВА**

Спеціальність 03.00.16 – екологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Науковий керівник:

Малик Остап Григорович,

доктор біологічних наук, професор

Львів – 2017

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК – агропромисловий комплекс;

БГКП – бактерії групи кишкової палички;

ЗЧМ – загальне мікробне число;

КУО/г – кількість колонієутворювальних одиниць в 1 г гною (посліду);

НВДЕ – невідновні джерела енергії;

ОШ – органічний шлам, утворений у процесі метанового бродіння;

ppm – одиниця вимірювання концентрації – одна мільйонна частка
(1 *ppm* = 10^{-6} = 1 частка на мільйон = 0,00001%).

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА І ПТАХІВНИЦТВА ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА (огляд літератури)	13
1.1. Вплив відходів тваринницьких сільськогосподарських підприємств на навколишнє середовище.....	13
1.2. Методи знезараження, утилізації та раціонального використання гнойових відходів тваринництва.....	20
1.3. Гнойові відходи тваринництва як ресурс для виробництва біогазу... ..	23
1.4. Метанове бродіння як метод знезараження гнойових відходів тваринництва і виробництва біогазу.....	29
1.5. Екологічна оцінка продуктів анаеробної переробки органічних відходів тваринництва.....	35
Висновки до розділу 1.....	42
Розділ 2. ПРОГРАМА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТІВ	44
2.1. Програма досліджень	44
2.2. Агрохімічна і енергоресурсна характеристики гною свиней і посліду курей та їх екологічна небезпека.....	46
2.2.1. Хімічний склад і патогенне забруднення курячого посліду, як критерій екобезпеки його застосування.....	49
2.3. Методи і методики досліджень.....	50
2.3.1. Метод та пристрій для визначення подобового об'єму виділеного біогазу з курячого посліду і свинячого гною протягом всього циклу бродіння.....	51

2.3.2. Методика отримання комплексного рідкого мінерального добрива при очистці біогазу водою з використанням очисного пристрою.....	52
2.3.3. Методика контрольованої утилізації шкідливих газів із біогазу.....	54
2.3.4. Методика хемосорбційної очистки біогазу з додатковим отриманням рідких мінеральних добрив (аміачної води та сульфату амонію) і натрієвої соди.....	56
2.3.5. Методи дослідження агрохімічного складу субстратів і продуктів ферментації.....	57
2.3.6. Визначення ступеня інвазованості гною свиней і курячого посліду до і після бродіння за різних температурних режимів.....	58
2.3.7. Дослідження кінетики загального числа бактерій і бактерій групи кишкової палички в процесі бродіння свинячого гною і курячого посліду залежно від температурних режимів.....	58
2.3.8. Польові дослідження.....	59
Висновки до розділу 2.....	61
Розділ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ	
ЗМЕНШЕННЯ ШКОДОЧИННОСТІ ГНОЮ СВИНЕЙ	
І ПОСЛІДУ КУРЕЙ	62
3.1. Розроблення проекту лабораторної біогазової установки та додаткових пристроїв для безвідходної утилізації гнойових відходів.....	62
3.2. Дослідження виходу біогазу в процесі біоенергетичної утилізації відходів.....	67
3.3. Способи очистки біогазу, отриманого в процесі біоенергетичної утилізації свинячого гною і курячого посліду.....	69
3.3.1. Очистка біогазу водою та отримання рідкого мінерального добрива.....	69
3.3.2. Розроблення способу контрольованої утилізації парникових газів біогазу з гнойових відходів тваринництва.....	75
3.3.3. Розроблення технологічного способу покращення якості біогазу.....	78

3.3.4. Хемосорбційний спосіб доочистки біогазу й утилізації його домішок.....	81
3.4. Отримання екобезпечного добрива в процесі біоенергетичної утилізації гнойових відходів тваринництва.....	85
3.4.1. Дослідження впливу метанового бродіння на агрохімічний склад і якісні показники зброженого свинячого гною і курячого посліду.....	85
3.4.2. Дослідження впливу температурного режиму і динаміки бродіння на бактеріальне забруднення та інвазованість ефлюента	88
Висновки до розділу 3.....	95
Розділ 4. АГРОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЙОВИХ ВІДХОДІВ ЗА ВНЕСЕННЯ ЇХ ЯК ДОБРИВА ТА ЕКОБЕЗПЕКА РОСЛИННИЦЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	97
4.1. Дослідження впливу добрива, отриманого в результаті бродіння в біогазовій установці на ростові процеси рослин.....	97
4.1.1. Вплив норм внесення ферментованого свинячого гною на ріст і врожай зеленої маси кукурудзи.....	97
4.1.2. Дослідження впливу ферментованого свинячого гною на ріст коренеплодів і врожайність редиски.....	101
Висновки до розділу 4.....	105
Розділ 5. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОБЕЗПЕКИ БЕЗВІДХОДНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЙОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	107
5.1. Агроекологічна й енергетична оцінка удосконалення технології утилізації свинячого гною і курячого посліду.....	107
5.2. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування озимих зернових культур аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу.....	110
5.3. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для	

вирощування озимих зернових культур водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу.....	114
5.4. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування кукурудзи аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу.....	117
5.5. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для вирощування кукурудзи водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу.....	120
5.6. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування редиски аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу.....	123
5.7. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для вирощування редиски водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу.....	126
5.8. Розрахунок кількості CO ₂ , NH ₃ H ₂ S, яка розчиняється у воді пристрою для очистки біогазу, отриманого з однієї тонни гною.....	129
5.9. Розрахунок екологічної ефективності виробництва і очистки біогазу...	133
Висновки до розділу 5.....	139
Розділ 6. АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
ДОСЛІДЖЕНЬ.....	141
ВИСНОВКИ.....	153
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	157
ДОДАТКИ.....	185
Додаток А. Рисунки й таблиці до розділу 3.....	186
Додаток Б. Акти впровадження та довідка про використання в навчальному процесі.....	198

ВСТУП

Актуальність теми. Реформування агропромислового комплексу і перехід до функціонування на принципах сталого (екобезпечного) розвитку, використання безвідходних технологій, зниження негативного впливу на довкілля – важлива проблема сьогодення [50, 119, 198, 220, 222]. Актуальний пошук ефективних малозатратних і доступних способів утилізації відходів тваринництва. Захист навколишнього середовища в сільській місцевості та зоні діяльності тваринницьких об'єктів проблемний через недостатнє вивчення еколого-економічних аспектів утилізації гнойових відходів їх переробленням з подальшим використанням біогазу й добрив [4, 63, 98, 107, 170, 194].

Відходи тваринницьких ферм за умов неправильного зберігання (особливо безпідстилкового гною) стали основним джерелом забруднення повітря, водойм, ґрунту та небезпечним чинником захворювань тварин і людей. Забруднення атмосфери аміаком, сірководнем та іншими леткими сполуками поширюється на відстань 3–5 км. Водночас гній і гнойові стоки становлять загрозу через можливість поширення інфекційних захворювань і гельмінтозів. Тому одним із способів вирішення проблем екобезпеки тваринництва є анаеробна ферментація гною та гнойових стоків і подальша утилізація їх із використанням як добрив [64, 171, 191].

З іншого боку, виснаження викопних енергоносіїв і можливість часткової заміни їх на відновні, зокрема, на біогаз, стає актуальним [195, 227]. Процес комплексної переробки гнойових відходів одночасно має три переваги: отримання енергоносія біогазу, покращення екологічної ситуації навколо тваринницьких ферм, отримання екобезпечних й агрономічно ефективних добрив [104, 114].

Запропоновані нами шляхи вирішення проблеми стосуються питань, пов'язаних з безвідходним функціонуванням тваринницьких ферм. Ключовим є питання оптимізації процесу анаеробної утилізації гнойових відходів

на основі удосконалення елементів конструкцій на макеті лабораторної біогазової установки, спроможної забезпечити знезаражування гною, отримання і очищення біогазу від домішок парникових газів, апробації у польових агрономічних дослідах отриманих у процесі контрольованої ферментації екологічно безпечних добрив.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася протягом 2011–2016 років відповідно до комплексних програм Міністерства аграрної політики і продовольства України та згідно з планом науково–дослідної роботи кафедри екології та біології Львівського національного університету ветеринарної медицини імені С. З. Гжицького. Тема дисертаційних досліджень є частиною держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри екології та біології: «Екологічна оцінка виробництва біодобрива та біогазу з органічних відходів тваринництва» (номер державний реєстраційний 0114U000499).

Мета й завдання досліджень – удосконалення й підвищення екобезпеки технологічних прийомів утилізації гнойових відходів тваринництва для їх подальшого ефективного використання як біогазу та добрив.

Для реалізації мети були виконані наступні *завдання*:

- сформувати програму, методологію, методику і схему експериментів, проаналізувати й узагальнити відомі актуальні результати дослідження за проблемою утилізації свинячого гною і курячого посліду;
- розробити проект і виготовити лабораторну біогазову установку з урахуванням розширення її можливостей для безвідходної утилізації гнойових відходів та підвищення екобезпеки процесу;
- описати хімічний склад та екологічну характеристику свинячого гною і курячого посліду дослідних господарств як джерел для виробництва біогазу, оцінити їх санітарно-гігієнічні небезпеки та якість ферментованого шламу;

- удосконалити спосіб метанового зброджування свинячого гною і курячого посліду з метою доочистки біогазу за допомогою хемосорбентів, отримання рідких мінеральних добрив і знезараження органічного шламу;
- оцінити агрономічну ефективність та екобезпеку отриманого в результаті ферментації органічного шламу як добрива проведенням польових дослідів;
- дати еколого-економічну оцінку переваги запропонованих способів удосконалення процесу утилізації гнойових відходів свинарства і птахівництва та використання отриманих добрив.

Об'єкт дослідження: процес утилізації та екобезпека використання гнойових відходів свинарства і птахівництва .

Предмет дослідження: вплив технологічних параметрів процесів утилізації та знезараження на зміни властивостей свинячого гною і курячого посліду, порівняння їх агрохімічного складу та інвазованості до початку і після анаеробної ферментації; екобезпека, агрономічна й економічна ефективність використання, отриманих у результаті перероблення гнойових відходів, біогазу та добрив.

Методи дослідження: хімічні та мікробіологічні, порівняльно-аналітичні, математично-статистичні, еколого-економічні, польові експерименти.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- на модифікованій нами в лабораторії експериментальній біогазовій установці з гнойових відходів свинарства і птахівництва отримано ферментований знезаражений органічний шлам і рідкі азотні мінеральні добрива у процесі очищення біогазу, і подальшими польовими дослідями доведено, що вони екобезпечніші, ніж свинячий гній і курячий послід, та агрономічно ефективними, а також економічно вигідніші, ніж промислова аміачна селітра;
- розроблено й апробовано технічний пристрій та методики проведення водної й хемосорбційної очистки, отриманого у процесі анаеробної

ферментації органічних відходів, біогазу від шкідливих для довкілля газових домішок (CO_2 , NH_3 , H_2S), що забезпечує отримання на 95-97% чистого газу метану, повну утилізацію потенційних парникових газів, а відповідно, й екологічний захист атмосфери.

Удосконалено: технологічні температурні параметри й способи повного патогенного й гельмінтного знезараження гною свиней і посліду курей у процесі анаеробного зброджування в біогазовій установці.

Отримали подальший розвиток:

- уявлення про зв'язок і кінетику кількісного виходу біогазу зі свинячого гною і курячого посліду залежно від активності, температурного режиму і тривалості анаеробного бродіння;
- методи дослідження впливу метанового бродіння на агрохімічні показники зброджених гнойових відходів і рівень зниження їх патогенного забруднення;
- прийоми практичного використання ферментованих органічних відходів для підвищення врожайності культур і чистоти рослинницької продукції.

Наукова новизна дисертаційного дослідження захищена сімома патентами України на корисні моделі.

Практичне значення отриманих результатів. Способи удосконалення технологій і методика безвідходної й біоенергетичної утилізації гнойових відходів тваринництва з допомогою модифікованої біогазової установки впроваджені у виробництво. Практичне значення мають запропонований спосіб і відповідний технічний пристрій водно-хемосорбційної очистки біогазу до біометану. Використання сорбентів води, концентрованої сірчаної кислоти і 10%-го натрієвого лугу забезпечує знешкодження домішок біогазу з отриманням цінних мінеральних добрив та його повне очищення.

Ферментація гнойових відходів у процесі метанового бродіння забезпечує екологічну чистоту й удобрювальну цінність органічного шламу, гарантує отримання якісної продукції рослинництва.

Розробки використані у технологічному процесі біоенергетичної утилізації гнойових відходів навчально-виробничої фірми «ІСТО» та для виробництва органічних добрив на підприємстві ТзОВ «БІТ».

Результати дисертаційного дослідження використані у навчальному процесі Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка у викладанні дисциплін «Агроекологія», «Загальна екологія», «Загальне землеробство», «Основи екології», «Природоохоронні технології», «Управління та поводження з відходами».

Впровадження розробок у виробництво підтверджено актами.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана за результатами досліджень автора під науковим керівництвом доктора біологічних наук, професора Інституту біології тварин НААН України Малика Остапа Григоровича. Разом з науковим керівником розроблено схему і програму досліджень, визначено мету і завдання, узгоджено методiku і об'єкт досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати обговорювалися і були опубліковані в матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційність розвитку сучасного аграрного виробництва» (Львів, 27–28 жовтня 2011 р.), на семінарі «Проблеми екобезпеки виробництва та переробки продуктів АПК» (Львів, 22-23 травня 2012 р.), в матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційність розвитку сучасного аграрного виробництва» (Львів, 25-26 жовтня 2012 р.), Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційність розвитку сучасного аграрного виробництва» (Львів, 24-25 жовтня 2013 р.) і матеріалах III Міжнародної науково-практичної конференції «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков» (Новосибирск, 27 сентября 2013 г.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 15-ти наукових працях, з яких – 8 статей у фахових наукових виданнях, одна – у фаховому періодичному виданні, що належить до наукометричних баз, одна – в

зарубіжному періодичному виданні Молдови та в 7-ми патентах України щодо корисної моделі, з яких 4 одноосібні.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, огляду літератури, методики досліджень і трьох розділів експериментальної частини, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел. Робота викладена на 200 стор. комп'ютерного тексту, містить 27 табл., ілюстрована 31 рис. Основна частина дисертації займає 150 стор. Список використаних джерел містить 257 назв, у тому числі 27 зарубіжних авторів.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА І ПТАХІВНИЦТВА ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА

(огляд літератури)

1.1. Вплив відходів тваринницьких сільськогосподарських підприємств на навколишнє середовище

Виробництво тваринницької продукції ґрунтується на споживанні поживних речовин, що надходять з кормом. Згідно літературних даних [23, 188, 196], тварини засвоюють лише 25% органічних речовин і енергії корму, а 75% їх переходить у відходи. Зокрема, у гнойові відходи переходить в середньому 50–80% азоту, 60–80% фосфору, 80–90% калію, до 90% кальцію і до 60% неперетравлених речовин та інші компоненти. Тому гній заслуговує на увагу як ефективне органічне добриво, що містить також всі необхідні для рослини елементи мінерального живлення. Питанням удосконалення технологій виробництва гною у тваринницьких господарствах та особливостях його використання як добрив з метою підвищення родючості ґрунту і врожаю рослин присвячено багато праць вітчизняних і зарубіжних дослідників [9, 23, 32, 90]. Тобто, мав місце комплексний підхід до системи: тваринницьке господарство ↔ поле. Це підтверджується багатьма працями вчених даного напрямку, що припадають на 60–70-ті роки минулого сторіччя [9, 23, 32].

З переходом тваринництва на промислові технології виробництва виникли тваринницькі комплекси, в яких зосередилась велика кількість тварин на невеликій площі. Промислові тваринницькі комплекси, як найбільш прогресивна форма розвитку тваринництва, спрямовані на підвищення продуктивності тварин за рахунок механізації та інтенсифікації технологічних процесів, стали за одно джерелом забруднення навколишнього

середовища. Нагромадження гною спричинило токсичне забруднення повітряного басейну в зоні діяльності комплексу чи ферми; забруднення ґрунту через неконтрольоване його внесення на поля; забруднення водою гнойовими стоками. Звідси, тематика літературних праць охопила систему: комплекс: ферма → поле → забруднення продукції → здоров'я тварин і людей. Це означає, що в попередню схему «ферма → поле» включився елемент навколишнє середовище, як сукупний вплив їх на його стан.

Вже в 70-х роках було запропоновано об'єднати дві поточні лінії – промислове рослинництво–промислове тваринництво з метою створення замкнутої екологічної системи з використанням відходів, що утворились з промислової системи в сільському господарстві. Екосистемний підхід до розуміння АПК означає розглядати агропромисловий комплекс як штучну складну агроекосистему, що об'єднує біоценотичні угруповання рослин і тварин, які функціонують як цілісність, завдяки взаємозв'язку і взаємодії між собою та з навколишнім середовищем. При цьому важливо забезпечити такі якості навколишнього середовища, які задовольняють не тільки матеріальні потреби, а ще й естетичні, шляхом збалансованості процесів вилучення й відновлення, поповнення вилученого із екосистеми [8, 108, 199].

В результаті діяльності тваринницький комплексів стали продукуватись небезпечні для середовища відходи – гній, гноївка, стічні гноєві води та мікробне забруднення.

Нагромадження гною та його склад залежить від кількості поголів'я, виду і віку тварин, напряму діяльності комплексу, умов і способу утримання тварин, асортименту і якості кормів тощо. На молочних фермах найбільш поширені прив'язне утримання в поєднанні з безприв'язним в літню пору. На відгодівельних комплексах – прив'язне утримання. Тварини утримуються в приміщеннях на підстилці (із соломи, тирси), тоді утворюється твердий гній. Безпідстилке утримання забезпечує отримання напіврідкого гною, що містить 8% сухої речовини, та рідкого – менше 8% сухої речовини. Рідкий гній – це суміш твердих і рідких екскрементів тварин, технологічної і

змивної води, відходів кормів, шерсті та газоподібних речовин. В рідкому гної міститься достатня кількість мікроелементів. В гної корів (в перерахунку на 10%-й вміст сухої речовини) міститься до 19,2% цинку, у свинячому – 36,8%, міді відповідно 3,7% і 6,9%, марганцю – 31,4% і 27,3. Кількість органічних речовин, що виділяється з екскрементами великої рогатої худоби складає 35%, у свиней на відгодівлі – 20% [23, 184, 97].

Хімічний склад безпідстилкового гною різних видів тварин наведено у таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Хімічний склад безпідстилкового гною різних тварин, % [23]

Показники середнього вмісту	Велика рогата худоба	Свині (на відгодівлі зерном)	Кури-несучки
Суха речовина	10,00	10,00	20,00
Органічні речовини	6,80	7,70	14,90
Азот	0,40	0,65	1,52
Фосфор	0,06	0,14	0,61
Калій	0,46	0,27	0,50
Кальцій	0,21	0,26	1,03
Магній	0,05	0,06	0,12
Натрій	0,05	0,04	0,11
pH	7,8	6,8	6,7

Дані табл. 1.1 свідчать про високу поживну цінність безпідстилкового гною як органічного добрива. Вихід гною пов'язаний безпосередньо з кількістю тварин у комплексі. Відомо, що при виробництві лише 1 кг телятини утворюються 25 кг гною, 1 кг свинини – 20 кг, 1 кг молока – 5 кг. На одному із свинарників з відгодівлі свиней на 108 тис. гол. за рік нагромаджується до 1 млн. м³ гнойових стоків [184].

Однак треба враховувати, що тривале зберігання гною з недотриманням санітарно–гігієнічних вимог, перетворює гній, гноївку та гнойові стічні води у джерело небезпечного забруднення атмосфери і водойми.

Загальновідомо, що процес гниття і бродіння, що відбувається під дією сапрофітної мікрофлори, супроводиться розпадом органічних речовин гною в кінцевому рахунку до мінеральних сполук. При аеробному процесі гниття відбувається швидкий і повний розпад до CO_2 , аміаку, сірководню, води, азоту. При анаеробному гнитті білкові речовини розщеплюються до простіших сполук до амінокислот і різних проміжних продуктів гниття. В тому числі, газів з неприємним запахом (індолу, скатолу, фенолу, сірководню, меркаптанів) та ін.

Вони різко погіршують стан в зоні діяльності тваринницьких підприємств і негативно впливають на здоров'я тварин в приміщеннях та здоров'я людей в сільській місцевості. Неприємний, їдкий запах відчувається на відстані 3–5 км і далше. Тому гній потрібно зберігати в спеціально обладнаних гноєсховищах та гноєзбірниках (рідкі відходи) [16, 32, 33, 97, 247].

Санітарно–гігієнічні вимоги розроблені на рівні державних стандартів, з врахуванням особливостей місцевості, тваринницького об'єкту технологій виробництва [23, 119, 142, 196].

Виходячи з цих норм, гноєсховища для зберігання твердого гною споруджують з підвітряної сторони, на відстані 100–200 м від тваринницьких приміщень. В приміщеннях повинна бути налагоджена система вивозу гною та дотримання санітарно–гігієнічних вимог.

В даний час, коли на зміну великим комплексам прийшли невеликі фермерські господарства, а також приватні індивідуальні господарства, треба враховувати, що гноєсховища (бурти) необхідно розміщувати на відстані 20–25 м від тваринницьких приміщень і не ближче 15–20 м від колодязя. Зазвичай, цього не дотримуються, що веде до забруднення води й повітря,

чим підвищує небезпеку для здоров'я людей [25]. Гній не рекомендується вивозити на поля без попереднього зберігання його протягом певного часу для «дозрівання» і самознезараження. Це пояснюється тим, що гній, особливо, свинячий і великої рогатої худоби, є джерелом забруднення ґрунту, водойм, атмосферного повітря небезпечними збудниками інфекційних та інвазійних захворювань [184, 188].

Природне самоочищення твердого гною при тривалому (до 60 днів) зберіганні в гноєсховищах (буртах) відбувається за рахунок термофільних процесів (аеробний або гарячий метод). В ущільненому твердому гної під дією високої температури (до 60–70°C) гинуть яйця і личинки гельмінтів, вегетативні форми деяких мікроорганізмів, насіння бур'янів.

Крім високої температури, що розвивається в гної в процесі перегнивання в ньому рослинних решток, сапрофітні мікроорганізми виділяють антибіотичні речовини, які теж згубно впливають на патогенні бактерії. Тому й рекомендують вносити такий гній на поля навесні, з розрахунку не більше 50 т/га.

Особливо небезпечним джерелом забруднення (переважно ґрунту і водойм) є рідкий гній та гнойові стоки. В рідкому гної, порівняно з твердим, не виникають процеси самонагрівання, оскільки він має постійну температуру біля 8°C взимку і 17°C влітку. Тому тривалість терміну виживання в ньому збудників захворювань і яєць та личинок гельмінтів більша [196].

Отже, рідкий гній більш небезпечний забруднювач водойм, ґрунту, атмосфери, ніж твердий. Залежно від типу і розміру тваринницьких комплексів, кількість безпідстилкового гною коливається в межах 84–2600 м³/добу або 30,6–949 тис. м³/рік. Склад його від ВРХ включає: 7482 мг/л механічних частинок, 1143 мг/л азоту загального, 941 мг/л аміаку. В ньому виявлено гетеротрофних бактерій 8×10^7 в 1 мл, колі-титр 10^5 – 10^7 яйця гельмінтів – 20 і більше в 1 л.

У гнойових стоках комплексу, навіть за умови їх попереднього очищення, містяться атипові штами бактерій групи сальмонел, патогенні збудники кишкової палички, яйця аскарид, волосоголовців. Щоб нейтралізувати такі стоки, необхідно 1200–разове розведення їх чистою водою. Однак – це не дасть повного знезараження.

За даними спеціалістів ветеринарно–санітарної служби, мікобактерії туберкульозу в цьому гної зберігали життєздатність протягом 475 діб, бруцели у гної великої рогатої худоби і свиней гинуть через 108–174 діб, вірус ящуру – до 190 діб [23, 35, 188, 199]. Тому не допускається внесення гною і гнойових стічних вод без попереднього знезараження. Особливо це стосується свинячого гною, який найбільш інтенсивно обсімінений бактеріями групи кишкової палички, стафілококами, кількість яких в 1 мл може досягати відповідно $1,2 \times 10^6$ і 10^{12} клітин [32, 33, 64, 196].

Екологічну оцінку виробництва, зберігання й використання гною треба давати з врахуванням міграції його токсичних речовин, патогенної мікрофлори, у системі повітря → ґрунт → рослина → тварина → людина.

Ґрунтові проби, відібрані на різній глибині ґрунтового розрізу, закладеного на місці складування гною ВРХ, характеризуються гострою токсичністю до глибини 60 см [8, 12, 142]. Аналіз проб гною ВРХ показав, що свіжий гній і гній, що зберігається до 1 року, здійснюють гостру токсичну дію на біотести без розведення водної витяжки. Найбільшою токсичністю характеризується свіжий свинячий гній, клас якого не опускається нижче 3–го. Пташиний послід в більшості випадків відповідає 4–му класу небезпеки відходів [85, 99, 184].

При таких способах зберігання гною в навколишнє середовище в значній кількості виділяються і шкідливі гази. За висновками Міжнародної групи експертів зі зміни клімату, сільське господарство є одним із основних джерел надходження в атмосферу газів CO_2 , CH_4 , N_xO , NO_x та NH_3 , які призводять до виникнення теплового ефекту [131, 132, 134, 218, 237, 242, 250, 252]. Цьому сприяють традиційні технології зберігання та використання

гною. Вміст органічних речовин в повітрі на території тваринницьких комплексів досягає 40–50 мг/м³, в 1 км від комплексу – 18,6 мг/м³. Неприємні запахи поширюються в радіусі 5–17 км і далі. В атмосферному повітрі виявляють аміак в концентраціях, що перевищують гранично допустиму концентрацію (ГДК) в 5–6 разів, мікробне і загальне органічне забруднення в 8–10 разів перевищує фон [8, 13, 23, 99, 254].

Гнойові стоки є сприятливим середовищем для життєдіяльності різних мікроорганізмів, зокрема і патогенних, а також відрізняються високим вмістом яєць гельмінтів. У гної можуть міститися понад 100 збудників небезпечних для тварин і людини хвороб: сибірська виразка, туберкульоз, бруцельоз, паратиф, паратуберкульоз, ящур, сальмонельоз, аскаридоз, кишкові інфекції [8, 196]. Вони з гноєм попадають у ґрунт, де, як наголошувалось довго зберігають патогенність.

Отже, актуальність безвідходної екобезпечної утилізації відходів тваринницької ферми за умов повного безпечного використання їх не втрачає своєї ваги.

Література насичена даними й пропозиціями дослідників у цій сфері, починаючи з 70–80 років минулого сторіччя і найновішими теперішніми. Вони стосуються питань використання гною як органічного добрива та як джерела потенційного забруднення ґрунту, водойм, повітря, в тому числі, збереження життєздатності патогенних мікроорганізмів. Дані проблеми до певної міри можна вирішити використанням відходів в якості альтернативних джерел енергії, зокрема біогазу, для покращення енергозабезпечення окремих регіонів та безпечного використання органічних добрив [36, 60, 98, 108, 114].

1.2. Методи знезараження, утилізації та раціонального використання гнойових відходів тваринництва

Використання гною в якості добрива визначається еколого–санітарними вимогами, що запобігають забрудненню ґрунту, атмосфери, водойм, рослинницької і тваринницької продукції та біобезпеки здоров'я тварин і людей.

Не очищені або недостатньо очищені відходи тваринницьких ферм, як уже наголошувалось, можуть бути джерелом небезпечного забруднення ґрунтових вод і рослинницької продукції нітратами, патогенними мікроорганізмами [67]. Все це вимагає ретельного нагляду з боку ветеринарно–санітарних служб в регіонах розташування тваринницьких підприємств та суворого дотримання регламен–технологічних вимог до процесів утилізації відходів. Він передбачає ліквідацію або зменшення до гранично допустимого рівня обсягу викидів рідких, твердих та газоподібних забруднень у навколишнє середовище. З цим пов'язана необхідність забезпечення санітарно–епідеміологічної безпеки відходів тварин шляхом дезінфекції, дегельметизації та збереження агробіологічної якості.

До способів знезараження гнойових відходів належать природні, біологічні, фізичні, хімічні.

Вибір способу знезараження гною залежить від структури (твердий, рідкий). Твердий гній, який утворюється при підстилковому утриманні й роздільному видаленні сухої й рідкої фракцій, тимчасово зберігається і знезаражується в гноєсховищі, в буртах за рахунок мікробіологічних термофільних бактерій. Відбувається теплове знезараження без втручання у цей процес з боку людини. Як відмічають спеціалісти [196], у першій фазі інтенсивно розмножуються аеробні теплолюбні мікроорганізми, які руйнують клітковину і підвищують температуру до 30–40 °С (стадія розігрівання). Через 2–3 доби настає друга фаза, яка триває 7–10 днів і відзначається зростанням кількості термофільних мікроорганізмів і

підвищенням температури до 60–70°C. Наступна третя фаза триваліша (до 60 діб), під час неї, завдяки високій температурі, гинуть патогенні організми, яйця і личинки гельмінтів, личинки комах. Згубну дію на патогенні мікроби та паразити здійснюють також антибіотичні речовини, що виділяються сапрофітними мікроорганізмами [184, 196].

Такий гній після цієї теплової обробки можна використовувати як цінне органічне добриво. Щодо норми його внесення, то вона визначається залежно від забезпечення ґрунту поживними речовинами, необхідними для окремих сільськогосподарських культур. Необхідно також врахувати, що гнойові відходи особливо багаті на азотисті сполуки, тому перевищені норми можуть стати причиною забруднення ґрунту, рослинної сировини нітратами і нітритами [55, 111, 137, 196].

Значно складнішим є знезараження рідкого гною і гнойових стоків, оскільки в них відсутня термофільна мікрофлора, здатна очистити їх від патогенних збудників.

Природним шляхом рідкий гній може знезаражуватись за наявності великих площ земель шляхом внесення його безпосередньо в ґрунт під оранку при додержанні рекомендованих норм. Так пропонується вносити його разом з твердою фракцією з розрахунку до 40 т/га [1, 32, 64].

Гнойівка знезаражується за рахунок внутрішньогрунтового внесення, або компостування її. Застосування внутрішньогрунтового внесення безпосередньо під оранку ґрунту забезпечує знешкодження патогенної мікрофлори та розпад органічних речовин під дією ґрунтових біоценозів мікроорганізмів [93].

Внесення гноевих стоків шляхом дощування або поливом по борознах не забезпечує повного знезаражування.

Компостування полягає у змішуванні гнойівки з торфом і складанням на спеціально відведених майданчиках у вигляді кагатів. Екологічно безпечним є спосіб висушування рідкого гною в суміші з мінеральними добривами і отримання чистих органо–мінеральних гранул. Дещо доступнішим

біологічним способом (але практично мало вживаним) вважають аерацію гною за рахунок продування повітря крізь масу гною в ємностях. При цьому спостерігається підвищення температури до 40–60 °С, що згубно діє на патогенні форми мікроорганізмів. Біологічні ставки більш доступний і ефективний спосіб. Гноєві стоки спочатку у відстійниках розділяються на тверду і рідку фракції. Освітлена рідина подається у ставок накопичувач, потім у водоростевий ставок. В них відбувається поетапне знезараження (відмирання патогенної мікрофлори) [61, 137, 184, 196].

Фізичні способи знезараження рідкого гною застосовують в таких господарствах, де було зареєстровано інфекційні та інвазійні збудники. У подібних випадках (при виявленні захворювань сальмонельозом, колібактеріозом, ящуром) проводять знезаражування рекомендованими хімічними речовинами (формальдегідом, безводним аміаком, різними дезінфікуючими засобами). Однак цей спосіб не можна вважати прийнятним для широкого використання з метою знезараження гною, оскільки він може призвести до забруднення ґрунту і порушення біохімічних процесів, які відбуваються в ньому. Тому найбільш перспективним виявилось анаеробно–метанове зброджування [21, 60, 69, 233, 234]. Воно відбувається за рахунок життєдіяльності анаеробних бактерій. Завдяки цьому процесу, зникає неприємний запах гною, сморід в околиці, гинуть патогенні форми бактерій, бур'яни рослин, утворюється метан. Та цей спосіб, завдяки високій вартості споруд і додаткових витрат палива, довгий час не знаходив широкого використання і вимагав вдосконалення, але не втратив значення. Тому гній і гноєві відходи залишилися і досі основним ефективним добривом. Важливою умовою використання їх в рослинництві та при виробництві кормів є дотримання оптимальних доз і способів внесення. Такі дані подаються щодо окремих культур (за В. Д. Баранниковим, з посиланням М. П. Мамченкова і ін., 1977 – для кукурудзи; В. М. Константинова, 1980 – для кормових культур) [85]. При цьому наголошується на накопиченні в рослинах нітратного азоту за умови перевищення доз безпідстилкового гною (не

більше 250–300 кг/га загального азоту). Питання нормованого внесення гнойових відходів, знезаражених і екологічно чистих, з врахуванням запасів мінерального живлення у ґрунті та запрограмованого врожаю, мають важливе значення для підвищення родючості ґрунту, попередження його забруднення [48, 56, 103, 108, 171]. Це одна із основних рис розвитку біологічного землеробства і біологічного рослинництва. При цьому треба врахувати, що в гної, який довго зберігається, втрачаються основні елементи мінерального живлення (N,P,K), біологічно активні речовини, мікроелементи та ін. У зв'язку з цим, екологічно безпечна утилізація забезпечує запобігання виділенню шкідливих газів, інактивацію патогенної мікрофлори, знижує негативний вплив на навколишнє середовище. Тому метод анаеробного бродіння, як спосіб ефективного знезараження й раціонального використання гною та гнойових стоків, набув актуальності й поширення [58, 64, 73, 88].

1.3. Гнойові відходи тваринництва як ресурс для виробництва біогазу

Освоєння нетрадиційних джерел електроенергетики створює умови для забезпечення регіональних потреб в електроенергії [37, 49, 82, 86].

Освоєння нетрадиційних енергоносіїв слід розглядати як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу існуючих теплоенергогенеруючих об'єктів на навколишнє середовище [3, 14, 66, 80, 81, 226].

Перевага нетрадиційних відновних джерел енергії в тому, що їхні запаси практично невичерпні, а в процесі використання не дають відходів, мало впливають на екологічний стан довкілля [217, 238, 243]. Однак вони ще не стали основними джерелами електроенергії. Про що свідчить наведена нижче діаграма (рис. 1.1). Тому, з огляду на нестачу в Україні традиційних видів паливної енергії, в державній енергетичній політиці зроблено акцент на

необхідність використання нетрадиційних енергоносіїв та розвиток альтернативної енергетики [71, 77, 103, 136, 174, 225].



Рис. 1.1. Джерела енергії в Україні.

Стратегічним планом передбачено збільшити виробництво електроенергії на основі НВДЕ, що повинно забезпечити на період до 2030 року 19% сумарного споживання первинної енергії [110, 105, 195, 228]. Європейська комісія вважає, що у 2020 році в Європі п'ята частина енергії буде вироблятися з екологічно безпечних джерел енергоносіїв [65, 91].

Одним із шляхів вирішення проблем розвитку галузей альтернативної енергетики в Україні є виважена регіональна енергетична політика [36, 109, 110, 120]. Вона повинна врахувати енергетичні потреби, стан забезпечення їх в окремих регіонах, а також наявність і доступність використання ресурсів тих чи інших джерел нетрадиційних енергоносіїв [114, 117, 121].

За даними різних авторів за різні роки, Україна має достатній потенціал відновлюваних нетрадиційних джерел енергії [10, 11, 36, 50, 52, 72]. Точні підрахунки їхніх запасів неможливі, оскільки вони динамічні, залежать від багатьох факторів, що їх визначають. Орієнтовні запаси рослинної маси складають до 40 млн. т/рік, що еквівалентно 25–30 млрд. м³/р. природного газу; відходи тваринництва і птахівництва – 32 млн. т/рік, що еквівалентно 10,3 млрд. м³/рік газу [36].

Біоенергетика набула чинності як одна із перспективних галузей альтернативної електроенергетики на протигагу генерації електроенергії на

основі природних паливних ресурсів [63, 95, 96, 135, 170]. Видобуток енергії у вигляді біогазу з твердих побутових відходів, сировини із технічних культур (соломи), відходів деревної промисловості та інших зацікавив багатьох господарників, в тому числі, й приватного сектору АПК. Адже він дає можливість доступним шляхом добути дешеву електроенергію та біопаливо для задоволення енергетичних потреб господарств та підприємств [47, 50, 52, 60, 106, 117].

Водночас така переробка відходів сільськогосподарського виробництва, зокрема відходів тваринництва та твердих побутових відходів, є одним із екологічних шляхів зниження негативного впливу їх на навколишнє середовище [100, 102]. В цьому відношенні на особливу увагу заслуговують гнойові відходи тваринництва, що є небезпечним джерелом санітарно-гігієнічного забруднення ґрунту, водойм та атмосфери, особливо в сільській місцевості та зоні діяльності тваринницьких ферм. Раціональним слід вважати його використання для виробництва біогазу та як органічного добрива після знезараження.

Запаси гнойових відходів тваринництва є дуже динамічними оскільки залежать від кількості поголів'я тварин та їх видів, способів утримання та ін. Окрім цього, не всі гнойові запаси доступні для використання в якості нетрадиційної сировини для виробництва альтернативних видів енергії (біогазу та біометану). Розподілені ці види відходів у межах окремих регіонів України та на їх територіях нерівномірно [7]. Це стосується і рівня використання їхнього енергопотенціалу. Основним залишається традиційне використання гною в якості органічного добрива, що не знімає негативного екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Про розподіл загальних запасів гною тварин, доступність їх переробки на біогаз та прогнозний біогазовий потенціал свідчать дані, представленні в таблиці 1.2 [36].

Таблиця 1.2

**Річний енергетичний потенціал гною в Україні та його використання
для виробництва біогазу [36]**

Область	Кількість гною, доступного для отримання біогазу, млн. т/рік	Кількість біогазу, що може бути отримана млн. м ³ /рік	Енергетични й потенціал біогазу, тис. т у. п.
Вінницька	3,1	128,5	92,7
Волинська	1,7	68,5	49,3
Дніпропетровська	3,0	125,1	90,2
Донецька	2,4	103,3	75,0
Житомирська	3,0	122,7	88,4
Закарпатська	0,3	16,2	12,0
Запорізька	2,2	93,1	67,1
Івано-франківська	0,5	23,6	17,3
Київська	3,1	136,3	99,0
Кіровоградська	1,6	65,0	46,9
Луганська	1,5	65,3	47,6
Львівська	1,1	49,3	36,1
Миколаївська	1,4	60,0	43,3
Одеська	2,3	102,6	74,6
Полтавська	3,3	139,9	100,9
Рівненська	1,5	64,0	46,2
Сумська	2,6	110,2	79,4
Тернопільська	1,4	58,1	42,0
Харківська	3,3	140,5	101,4
Херсонська	1,7	70,6	50,9
Хмельницька	2,8	113,0	81,3
Черкаська	3,0	123,6	89,7
Чернівецька	0,7	29,0	21,1
Чернігівська	3,1	129,5	93,4

Лише за рахунок використання доступної кількості гнойових запасів для виробництва біогазу можна отримати таку кількість його, яку можна прирівняти до 13373 т у. п./рік. Це яскраво виражає карта-схема (рис. 1.2.)

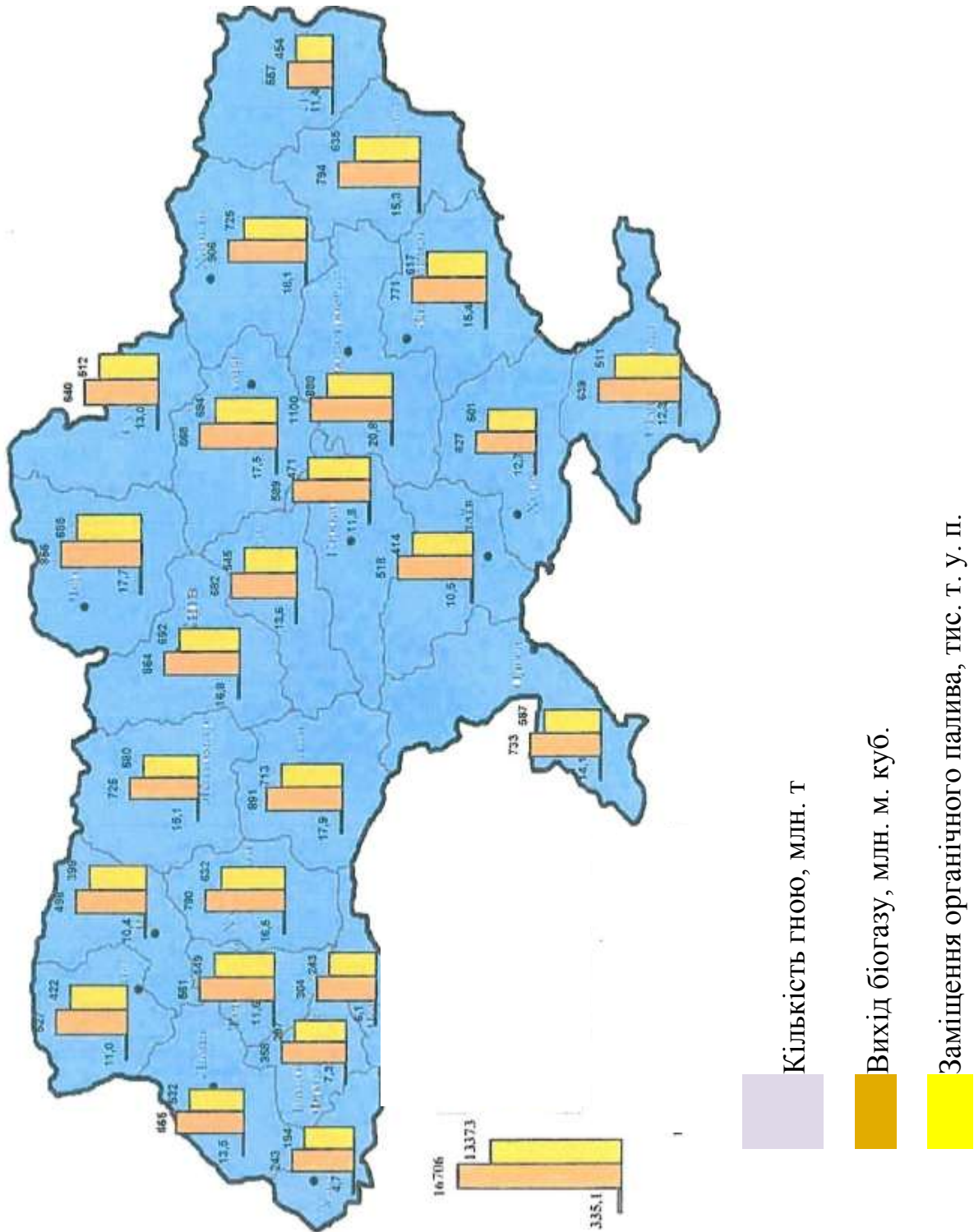


Рис. 1.2. Потенціал тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні

Однак, знаючи небезпеку гною як джерела забруднення середовища і продукції, важливим залишається його утилізація. Для виробництва біогазу його доцільно використовувати в межах господарства, об'єднань господарств для самозабезпечення їх власною енергією [60, 114, 117].

Розвиток альтернативної біоенергетики відкриває ще одну екологічну сторінку – запобігає забрудненню атмосфери так званими парниковими газами [42, 45, 113, 140]. Останнім часом питання про причини зміни клімату дискусується спеціалістами різних країн [251].

В червні 1992 р. Україною було підписано Рамкову Конвенцію (ратифіковано в жовтні 1996 р.). Згідно з нею, передбачається проведення скорочення викидів парникових газів, національної інвентаризації антропогенних викидів з джерел і адсорбції поглиначами усіх парникових газів за узгодженою міжнародною методологією [28, 57, 79, 132, 195, 253].

Для пом'якшення наслідків зміни клімату Європейська комісія планує до 2020 року інвестувати у країни, що розвиваються, 175 млрд євро, а до 2030 р. витратити на ці цілі ще 25–45 млрд. євро щорічно [91, 205].

Київський Протокол Україною підписано у березні 1999 р. (ратифіковано у лютому 2004 р.). Згідно з ним передбачається: підвищення ефективності використання енергії у відповідних секторах національної економіки; проведення досліджень, розробка, сприяння широкому використанню та впровадженню нових і відновлюваних видів енергії, технологій поглинання двоокису вуглецю та передових сучасних екологічно безпечних технологій; охорона та поліпшення якості поглиначів – накопичувачів парникових газів, заохочення раціонального ведення сільського господарства у контексті зміни клімату, введення сучасних екологічно безпечних технологій, заходи з обмеження та/або скорочення викидів парникових газів [29, 31, 92, 173, 220].

Про цінність альтернативної енергії для раціонального використання природних ресурсів наголошував член фракції «зелених» в Європарламенті Клод Турмес який заявив, що Україна має великий сільськогосподарський потенціал: «У нас є цифри, які доводять: біогаз в Україні можна виробляти в таких об'ємах, які дозволять скоротити її залежність від Росії на 50% і транспортувати його до Європи існуючим газогоном». Наголошується, що

керівний орган Євросоюзу за допомогою кредитів і позик Європейського інвестиційного банку зможе профінансувати подібний проект [148].

1.4. Метанове бродіння як метод знезараження гнойових відходів тваринництва і виробництва біогазу

Метод метанового бродіння у біогазових установках є найбільш перспективним, оскільки забезпечує знезараження, дегельмінтизацію, збагачення гною продуктами його ферментації і отримання високоякісних органічних добрив. Водночас здійснюється процес знешкодження шкідливих газів і виробництво біогазу як альтернативної енергії.

Процес метанового бродіння відбувається поетапно за участю різних груп бактерій: гідролітиків, кислотогенів і ацетогенів. Вони поступово розщеплюють складні органічні сполуки гною до простих: ацетат, метанол, водень, вуглекислий газ, аміак, сірководень, які є субстратом для метаногенеруючих бактерій. Кінцевий етап – з утворенням метану здійснюють метаногенні бактерії.

Загальну двохфазну систему утворення метану розробив Н. Баркер в 1956 р. [233]. Він виділяє фазу кислого бродіння, яке здійснюють сапрофітні анаеробні бактерії, поширені в природі. Вона характеризується утворенням різних кислот та газів (CO_2 , NH_3 , H_2S , H_2); їх виділенням і появою гнильного запаху. Таке бродіння спостерігається в природі.

Друга фаза – лужне (метанове) бродіння, за якого метаногенні бактерії здійснюють подальший розпад речовин першої фази з утворенням біогазу, в склад якого входять CH_4 , N_2 , H_2 .

Основна увага зосереджена на характеристиці діяльності в процесі анаеробної ферментації біоценотичної групи різних бактерій. Вони здатні функціонувати як саморегульована система, що підтримує необхідні значення рН та інших факторів середовища на різних етапах біометаногенезу.

Докладнішою є схема процесу анаеробного бродіння запропонована Р. Маккарті [246]. Він виділяє у циклі метанового бродіння три послідовні стадії з участю трьох різних фізіологічних груп бактерій.

Зокрема, на першій стадії діють облігатні анаероби (*Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*) та факультативні анаероби (*Escherichia coli* (Migula) Castellani і окремі види *Bacillus*). В результаті їхньої діяльності утворюються: водень, аміак, спирти та інші сполуки розпаду білків, ліпідів, поліцукрів.

Друга стадія здійснюється ацетогенними організмами – ацетогенними облігатними і факультативними видами, в склад групи їх входять *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Desulfovibrio*. Вони перетворюють органічні кислоти в оцтову кислоту, водень і вуглекислоту.

На завершальній третій стадії процес бродіння відбувається з участю метаногенних і сульфатредуцентних мікрорганізмів. Вони використовують метаболічні сполуки двох перших стадій для утворення основного продукту – метану.

Вивченню якісного і кількісного складу асоціації бактерій метаногенезу, як одному із основних його умов, присвячені роботи багатьох вітчизняних [21, 47, 53, 64] та зарубіжних дослідників [233, 244, 248, 255].

Від забезпечення необхідних умов для їхньої діяльності в процесі бродіння залежить цільова ефективність його. При цьому треба врахувати, що якісний і кількісний склад угруповання метаногенних бактерій залежить як від особливостей зброджуваного матеріалу, так і цілої низки зовнішніх факторів, що впливають на процес бродіння.

Основні технологічні аспекти біогазового методу утилізації гнойових відходів тваринництва викладені в монографічних працях провідних спеціалістів галузі [9, 47, 69, 112]. Однак, треба наголосити, що метанове бродіння привернуло до себе увагу ще в 50–60-ті роки минулого сторіччя у зв'язку з виробництвом біогазу з рослинної маси та органічних відходів тваринництва. Тому переважна більшість досліджень була спрямована на

оптимізацію процесу бродіння різних видів відходів для підвищення продуктивності біогазових установок і виходу біогазу [94, 112, 190].

Оптимізація процесу метанового бродіння залежить від технологічних факторів, які впливають на стабільність функціонування метаногенних анаеробних бактерій. До таких спеціалісти відносять підготовку і норму завантаження робочого простору бродильної камери, рівномірність розподілу в ній біомаси шляхом перемішування і тривалість бродіння.

До факторів середовища належать такі, як водневий показник, вміст і склад органічних речовин, відсутність токсичних речовин, температурний режим бродіння. На їх вивчення спрямовані дослідження багатьох наукових спеціалістів, про що свідчать численні ґрунтовні й короткі повідомлення, що стосуються особливостей бродіння різних видів відходів, зокрема гнойових, та кінетики виділення біогазу в процесі їх бродіння. Переважно вони містять дані щодо особливостей бродіння гною великої рогатої худоби та свинячого гною, як більш доступної і масової сировини [78, 84, 116, 149, 201, 230, 234].

Біогазовий процес утилізації органічних відходів тваринництва вимагає визначення оптимальних параметрів окремих факторів відповідно до виду, складу, типу відходів та цілей (лабораторно–дослідних, чи промислових) досліджень.

В Україні кожні 24 години для виробництва біогазу доступні 74,5 тис. т гною свиней і великої рогатої худоби та 10,29 тис. т курячого посліду. Тому цей складний процес метанового бродіння вимагає врахування технологічних вимог, відповідно для використання лабораторної біогазової установки для модельних досліджень. Вони розроблені переважно для установок промислового використання з метою виробництва біогазу. Поза увагою залишався не менш цінний продукт – гній як органічне добриво.

Тому важливим слід вважати перехід від переробки гнойових відходів на біогаз до комплексної утилізації з отриманням біогазу і екологічно безпечного знезараженого біодобрива. Технологічний процес такого біогазового методу передбачав в процесі бродіння поєднати виробництво

біогазу з одночасним знезараженням гною і покращенням ефективності його використання в якості органічного добрива безпечного для удобрення ґрунту і посівів сільськогосподарських культур [47, 53, 60, 144, 191, 204].

Отже, в процесі такої утилізації шляхом регулювання умов метанового зброджування гнойових відходів тваринництва відбувається важливе для навколишнього середовища зниження негативного впливу їх як джерела забруднення та раціонального використання для виробництва екологічно чистої біоенергії.

В літературі подані дані досліджень про вплив окремих та комплексу факторів на процес бродіння з метою отримання біогазу і біодобрива з органічних відходів тваринництва, в тому числі й свинячого гною та курячого посліду. Однак вони не завжди прийняті для конкретних зразків цих відходів, враховуючи їхній хімічний склад, рівень забруднення та інші специфічні властивості [107, 237, 245].

Одним із практично важливих цільових факторів зброджування відходів у біогазовій установці є температурний режим. Літературні відомості з різних названих вище проаналізованих джерел досить протирічливі, оскільки вибір температур є досить суб'єктивним і потребує попередніх досліджень. На практиці використовують наступні температурні режими роботи бродильних камер, зокрема, психрофільний (5–20°C), мезофільний (20–43°C) і термофільний (50–65°C). Наголошується, що метаногенез інтенсивно проходить в умовах мезофільного режиму при температурах 30–35°C і за відсутності кисню. Для термофільного режиму оптимальними вважають температури 52–54 °C. Позитивною стороною термофільного режиму бродіння є надійна дегельмінтизація бродильної маси гнойових відходів. Швидкість розкладу органічної речовини у 2–3 рази вища, ніж при мезофільному [74, 190].

Температура зброджування у біогазових установках здійснює значний вплив на якість отриманих органічних добрив. Як відмічає Г. Г. Гелетуха (2002) [53], мезофільний режим бродіння є найбільш поширеним

(температура 30–40°C), забезпечує збагачення гнойової маси мезофільною мікрофлорою і вмістом мінеральних сполук, але має низький санітарно–гігієнічний ефект. Звідси випливає, що температурний режим є одним з основних факторів, що визначає активність бродіння за рахунок мезофільної чи термофільної бактеріальної мікрофлори, і повинна враховуватись для обов'язкового знезараження гнойових відходів.

Важливою ознакою характеру і тривалості бродіння є хімічний склад і водневий показник зброджених відходів. Зокрема, процес метаногенезу можливий при рН від 6,0 до 8,5. Для розкислення свинячого гною І. В. Семененко та М. Г. Зінченко (2012) [189] рекомендують додавати коров'ячий гній у співвідношенні 2:3. Зростання рН середовища вище значення 8 гальмує процес ферментації субстрату.

Суша речовина гнойових відходів має в своєму складі біополімерні сполуки білків, ліпідів, вуглеводів. Від їх співвідношення залежить вихід біогазу в кожному конкретному випадку. Питомий вихід біогазу з розрахунку на 1 кг сухої органічної речовини в ліпідів у 1,5 рази вищий, ніж при розпаді вуглеводів і білків. Вміст метану в біогазі зумовлений розпадом ліпідів і білків, а вміст CO₂ – розпадом вуглеводів [69, 70, 189].

Коли метаногенезу підлягають органічні відходи (твердий гній) тварин; співвідношення між твердими компонентами і водою повинно складати 1:1, що відповідає загальній концентрації твердої речовини 8–11%. Для оптимальної переробки органічних відходів співвідношення вуглецю та азоту має стати приблизно 10–30:1. Такого співвідношення, в разі необхідності, можна досягнути додаванням до зброджуваного матеріалу соломи, жому та інших матеріалів (у подрібленому стані) з високим вмістом вуглецю. Для зброджування рослинних матеріалів з високим вмістом вуглецю потрібно додавати багаті на азот речовини (свинячий гній або курячий послід), щоб досягти оптимального співвідношення C:N [189, 213, 235].

У процесі метанового бродіння співвідношення C:N змінюється постійно, тому що вуглець виділяється з біогазом постійно [69].

Асоціація метаноутворюючих бактерій може використовувати для утворення метану практично всі звичайні органічні сполуки (крім лігніну) [50, 91, 101, 166]. На вихід біогазу впливає співвідношення жирів, білків, вуглеводів у складі органічної маси. Для визначення кількості біогазу, що утворюється, запропонована формула [189]:

$$A = 0,92ж + 0,62в + 0,34б \quad (1.1)$$

де:

$ж$, $в$, $б$ – частка жирів, вуглеводів й білків в 1 г сухої органічної речовини (СОР);

0,921; 0,621; 0,34 – коефіцієнти, що означають питомий вихід біогазу (л/год) відповідно з жирів, вуглеводів і білків.

Велику швидкість розкладу мають: крохмаль, цукор, глікоген, жирні кислоти, білок, пептиди, амінокислоти, вітаміни, антибіотики, слиз, кров, соматичні клітини, ферменти, гормони, біомаса; середню – целюлоза, геміцелюлоза, пентоза, хітин, масла, жири, жовчні кислоти; низьку – лігнін, целюлоза з лігніновою кіркою, кератин (волосся), віск, жовчні пігменти [69].

Важливе значення для нормального перебігу процесу бродіння має вологість бродильної маси та доза завантаження її відносно об'єму простору бродильної камери біогазової установки. Бактерії живуть і розмножуються у вологому субстраті – у випадку вмісту не менше 50% води у їх складі. При низькій вологості гною (<86%) утруднюється перемішування бродильної маси, а при високій вологості (>96%) – різко знижується газовиділення через недостатній вміст органічних речовин в ній. Вважається оптимальною вологістю для свинячого гною вологість в межах 92–94%, а концентрацію сухої речовини – 8–10% [189, 249].

Доза завантаження пов'язана з рівномірною подачею в біореактор свіжої сировини з певним інтервалом. Процес термофільного зброджування йде стабільно за добової дози завантаження до 50%, а для мезофільного процесу рекомендована доза завантаження – 4,5–11% свіжої маси [189].

Встановлено, що чим менша доза завантаження, тим глибший розпад беззольної речовини, тим більше газу виділиться. Доза завантаження коливається в межах 7–11% - мезофільному режимі бродіння та від 14 до 20% для термофільного процесу. Тривалість бродіння залежить від дози завантаження, складу і концентрації сухої речовини у бродильному субстраті, мети зброджування, температурного режиму. На практиці при мезофільній температурі до 20 діб, при термофільному 8–4 доби.

1.5. Екологічна оцінка продуктів анаеробної переробки органічних відходів тваринництва

Біогаз часто використовується для опалення. При спалюванні неочищеного біогазу, який містить шкідливі домішки NH_3 , H_2S і значну кількість CO_2 , в атмосферу будуть виділятися токсичні гази NO_x , SO_2 (сірчистий газ), які спричинять її забруднення, зниження здатності до самоочистки та випадіння кислотних дощів [57, 115, 118]. І тому для покращення екологічного стану навколишнього середовища біогаз потрібно очищати. На сьогоднішній день тонка очистка біогазу ведеться лише з економічних міркувань (отримання пального для машин та електроенергії). Відомі такі способи тонкої очистки (лужне очищення газу від CO_2 , очищення газу від CO_2 методом низькотемпературної абсорбції метанолом, біокаталітична безреагентна технологія очищення від H_2S природного газу та біогазу і ін.). Всі ці способи енергоємні та передбачають регенерацію адсорбенту, що спричиняє додаткові енергозатрати. Тому, потрібно вести пошук більш екологічно і економічно вигідних способів очистки біогазу.

В основу екологічної оцінки біогазового методу утилізації органічних відходів були покладені його біобезпека, трансформація в екологічно чисті продукти в процесі метанового зброджування, рівень впливу на навколишнє

середовище, доступність і перспективи [126]. На цих особливостях була зосереджена увага щодо літературних даних у сфері їхнього дослідження.

Як наголошується в них, нагромадження гнойових та інших відходів у тваринницьких господарствах за умови відсутності спеціальних гноєсховищ, гноєзбірників, дотримання санітарно–гігієнічних вимог до умов у приміщеннях для тварин, чистоти кормів, ветеринарного контролю, способів використання гною і гнойових стічних вод для удобрення перетворило їх у реальні та потенційні джерела забруднення усіх сфер навколишнього середовища. Безперечно поява названого методу переробки гною і гнойових стічних вод стала важливим для ефективного вирішення багатьох актуальних проблем екологічним шляхом [16, 22, 33, 230 та ін.].

Існуючі до того різні методи знешкодження токсичних складників гною та патогенної мікрофлори виявились малодоступними, дорогими чи небезпечними для середовища хімічними засобами.

Переваги і недоліки переробки гною в біогаз розкриті в працях Ткаченко С. Й. (2002), Третьяка С. В. (2010), Турука Ю. Г. (2009), Шило С. В. (2011) та ін. [204, 205, 206, 222].

Метанове зброджування органічних відходів тваринництва, відоме з минулого сторіччя, набуло значимості і популярності як в промислових тваринницьких господарствах, так і в приватному секторі. Насамперед це зумовлене метою отримання альтернативного палива для самозабезпечення тепловою та електроенергією [26, 34, 52, 56, 83].

Вдосконалення технологічного процесу, доступність сировини і технологічного обладнання дало можливість проводити утилізацію гною й гнойових стічних вод з використанням різних продуктів метанового бродіння. За умов комплексної утилізації з використанням біогазової установки здійснюється:

– знезараження гнойових відходів, вивільнення токсичних домішок і патогенних мікроорганізмів;

- збагачення перебродженого гною основними біогенними елементами мінерального живлення у доступній для рослин формі;

- здійснити в процесі бродіння вловлювання токсичних газів, в тому числі парникового впливу і нейтралізація їх дії шляхом утворення нових нешкідливих для середовища сполук.

- знизити рівень забруднення середовища продуктами спалювання традиційних видів палива для електроенергетики за рахунок альтернативного енергоносія – біогазу [20, 187].

У природі гній поступово розкладається протягом кількох років за участю спеціальних корисних бактерій, які потрапляють туди з кишківника тварин. Під час розкладання органічної маси бактеріями з неї виділяються вуглекислий газ, метан, оксиди азоту, які надходять у повітря [8, 56, 196]. У біоустановці завдяки збереженню стабільних і постійних умов для мікроорганізмів, процеси обміну речовин і енергії відбуваються не декілька років, а протягом декількох тижнів. Крім того, всі шкідливі гази, що виділяються під час бродіння, збираються і використовуються з користю для людини.

Завдяки виробництву біогазу за рахунок переробки гною, відбувається зменшення найважливішого парникового газу метану [229, 251]. Метан складає тільки 20% вмісту парникових газів, але потенціал його впливу на клімат у 23 рази вищий, ніж CO_2 [22, 91]. Отже, зниження викидів метану більш ефективно для запобігання змін клімату, ніж зниження викидів CO_2 . Причому, вуглекислий газ, що виділяється при спалюванні біогазу, перебуває в межах природного кругообігу речовин і споживається рослинами протягом вегетаційного періоду [117, 250]. Таким чином, концентрація CO_2 в атмосфері в порівнянні з використанням твердого палива не збільшується. Вуглець, який рослина акумулювала з атмосфери спалюється.

Використання нафтопродуктів, як джерела енергії, створює значну екологічну небезпеку для здоров'я населення. При використанні мінерального палива разом з відпрацьованими газами у повітря надходять

вуглеводні, оксиди азоту, вуглецю і сірки, сполуки, що містять свинець, сажу, викиди пального [79, 226].

Використання ж 1 м³ біогазу замість 1,3 кг дров знижує викиди CO₂ на 2,6 кг. Зниження викидів CO₂ за рахунок заміни використання бензину становить близько 1,6 кг на 1 м³ [124]. Виробництво 1 МВт енергії з біогазу теж значно зменшує емісію CO₂ [89].

Відносний потенціал закису азоту щодо змін клімату в 320 разів більше потенціалу двоокису вуглецю. Дослідження показують, що викид закис азоту може бути зменшений на 10% за рахунок анаеробної переробки рідких відходів. Це означає запобігання викидів 15,7 млн тонн еквівалента CO₂ на рік [121, 249].

Сировина для виробництва біогазу є безкоштовною. Основним завданням будь-якої біогазової установки є екологічно безпечна утилізація органічних відходів. При цьому вирішується проблема використання зайвих ще донедавна сотень тисяч тонн цих відходів, накопичених у довкіллі [231, 239]. Отже, знижується негативний вплив на середовище і забезпечується безвідходність виробництва.

Біодобриво після бродіння повністю позбавлене патогенної мікрофлори, що підвищує біобезпеку середовища. Оптимальним терміном бродіння для знешкодження переважної кількості бактерій є тридцять днів. Менший час бродіння може призвести до неповної стерилізації субстрату. Зброджування гною при температурі 40°C знижує мікробне число на 87%, а при температурі 55°C ефект знезаражування досягає 96–99 % [137, 188, 196].

У результаті скорочення об'ємів органічних відходів в місцях їх збереження зменшується ризик респіраторних і очних захворювань за рахунок очищення повітря.

У біодобриві також відсутнє насіння бур'янів. Так, 1 т свіжого гною містить до 10 тис. насінин бур'янів.

Біодобриво не приносить шкоди ґрунтовій біоті (дощові черв'яки, мікрофлора, гриби, корені рослин), на відміну від необдуманого внесення великих доз мінеральних добрив, пестицидів, які мають згубний вплив на них [46, 56, 88, 98, 108].

Згідно з аналізом основних досліджень і публікацій з питань екологічної оцінки виробництва біодобрива, відомо, що здійснювалась екотоксикологічна оцінка безпечності біодобрива за впливом на мікро- і мезофауну ґрунту та на сільськогосподарські рослини. Авторами Макаренком Н. А, Бондарем В. І., Борщем Г. М. та Сальніковою А. В. [129] обґрунтовано екологічно безпечні норми застосування біодобрива в органічному виробництві продукції рослинництва з позитивним впливом на врожайність сільськогосподарських культур і з відсутністю негативного впливу на агроєкосистему. Екологічно безпечний рівень внесення біодобрива забезпечувався при дозі внесення 10 т/га за прикореневого способу внесення і 40 кг/га – шляхом обприскування рослин у фазі вегетації. При цьому спостерігалось зростання врожайності зеленої маси сільськогосподарських культур (процесів нітрифікації, денітрифікації, амоніфікації), збільшення біомаси черв'яків. При збільшенні дози внесення біодобрива, починаючи з дози 20 т/га, спостерігалось пригнічення активності мікроорганізмів, які забезпечують перетворення азоту до нітратної форми та пригнічення росту і розвитку рослин. Зростання біомаси черв'яків спостерігалось за дози внесенням біодобрива на рівні 10–20 т/га та зменшення – за збільшенням норми до 30–40 т/га. Середня летальна концентрація LC50 для *Eisenia fetida* в умовах голодного тесту, під час якої кількість загиблих особин досягає рівня 10%, створюється за норми внесення біодобрива на рівні 540 т/га і вище [111, 114, 171].

Всі хімічні засоби дають збільшення врожайності за умов зменшення родючості ґрунтів і зниження безпечності продуктів харчування [2, 137, 178, 222]. За даними Всесвітньої Організації Охорони здоров'я щорічно пестицидами отруюються 0,5 млн чол., а з них із смертельними наслідками

близько 1%. При обробці насаджень та полів лише 0,1–1% пестицидів, які використовуються, досягають місця свого призначення, тоді як 99%, що залишаються, потрапляють у ґрунт, атмосферу, водойми і, в кінцевому випадку, в продукцію сільськогосподарського призначення. Мінеральні ж добрива у вигляді гранул засвоюються на 45–55%, решта відкладається у вигляді нітратів у самих продуктах, які мають шкідливий вплив на людину. Нітрати сприяють розвитку ракових пухлин у шлунково–кишковому тракті [15, 17].

У звіті агентства ООН із захисту довкілля українські чорноземи, які складають приблизно 30% світового запасу чорноземів, отримали досить низьку оцінку. Ерозією уражено майже 41% з них. Вважають, що головною причиною такого стану ґрунтів є використання пестицидів [19, 30, 38, 60, 202]. Ґрунт є живим тілом, насиченим безліччю живих організмів: корисних мікроорганізмів (азотфіксуючих, целюлозоруйнівних, нітрифікуючих і ін.), грибів, дощових черв'яків (вермикультура). Необґрунтоване внесення великих доз мінеральних добрив, пестицидів має згубний вплив на них [1, 2, 139, 216], а, отже, призводить до порушення ґрунтових процесів. З іншого боку, для підтримання врожайності, рослини поглинають з ґрунту всі необхідні їм основні елементи живлення (азот, фосфор, калій) [6, 24], а також мікроелементи: залізо, мідь, молібден, марганець, цинк, бор, сірку, вносячи свою частку в їх виснаження [60, 61, 137].

Біодобрива ж засвоюються рослинами на 100%, при цьому вміст нітратів у них мінімальний. При різних методах переробки (компостування, витримування в гноєсховищах) втрати азоту становлять від 30 до 50%, в той час як у процесі метаногенезу втрати азоту не перевищують 5% [2, 61]. Мінералізація у природному гної 40%, у перебродженій масі – 60%. При анаеробному переброджуванні гною в чотири рази, порівняно із незбродженим, підвищується вміст амонійного азоту (20–30% азоту переходить в амонійну форму), а кількість засвоюваного фосфору

подвоюється. Також відомо, що гумінові кислоти біодобрива зв'язують важкі метали [44].

На відміну від торфу, який не має мікрофлори, у гної міститься 109 колоній/г мікрофлори, у біодобриві – 1012–1014 колоній/г, при цьому там немає патогенної мікрофлори [59]. Це пов'язано з тим, що під час трансформації складних сполук до простих відбувається наростання біомаси мікроорганізмів і відповідно внесення такої біомаси у ґрунт супроводжується підвищенням ґрунтової біологічної активності (зростатиме кількість амоніфікаторів, целюлозоруйнівних, нітрифікаторів, підвищується рівень доступних форм азоту, фосфору, калію й інших макро – та мікроелементів [2, 127, 139].

Біодобриво стійке до вимивання з ґрунту. За сезон з ґрунту вимивається близько 80% гною, тому доводиться його додавати щороку. За цей час з ґрунту вимивається близько 15% біодобрив. Таким чином, біодобриво даватиме віддачу 5–6 років після внесення [43, 127].

Отже, екологічна роль біодобрив полягає в тому, що вдається отримати високоякісні і екологічно чисті продукти харчування за одночасного збереження та відтворення родючості ґрунту, а, отже, і покращення здоров'я людей внаслідок споживання екологічно чистої сільськогосподарської продукції при використанні екологічно чистих добрив [38, 111, 224]. Для зменшення викидів парникових газів в навколишнє середовище потрібно в технологію переробки відходів методом метанового бродіння включати очистку біогазу до біометану.

Отже, переробка гною методом метанового бродіння є найбільш перспективною, оскільки забезпечує знезаражування, дегельмінтизацію, отримання високоякісних органічних добрив, виробництво енергії, і знешкодження шкідливих газів [198, 200, 214, 221, 234, 240].

Висновки до розділу 1

На основі опрацьованих літературних джерел та власних спостережень стосовно екологічних аспектів діяльності тваринницької галузі вважаємо, що на даний час виникала необхідний екосистемного підходу до господарської організації діяльності тваринницьких господарств із врахуванням їх впливу на навколишнє середовище.

У розділі розкрито характер і рівень впливу відходів тваринництва на якісний склад повітряного середовища, водних об'єктів, ґрунту в зонах діяльності тваринницьких комплексів [Бамбіда Д. І., Борисов Б., Болюченко І. С., Гукалов В. Н., Баранова С. Б., Васильєв В. А., Вашкурлат Н. П., Махнюк В. М.] та показано, що особливо небезпечним є патогенне забруднення гною, що може бути джерелом небезпечних гельмінтозних та інфекційних захворювань для людей і тварин [12, 25, 99, 32, 33, 131].

Особливо небезпечним є патогенне забруднення гною, що є джерелом небезпечних гельмінтних та інфекційних захворювань.

Показано, що найефективнішим серед відомих методів і способів знезараження (фізичних, хімічних, термічних) і раціонального використання гнойових відходів визнано його біоенергетична утилізація шляхом метанового бродіння у біогазовій установці.

Виходячи із наведеного літературного огляду метод зброджування гнойових відходів, започаткований як основний з метою виробництва біогазу набув комплексного характеру безвідходної переробки їх.

Сучасна утилізація гною методом метанового бродіння здійснюється в комплексі з покращенням якості гнойової сировини – отримання знезараженого екобезпечного органічного добрива.

Широка популярність комплексного використання органічних відходів тваринництва зумовила актуальність питань поглиблення й конкретизації досліджень процесу біоенергетичної утилізації різних видів відходів з

врахуванням їх специфіки, рівня небезпечності та регіональних особливостей.

Органічні відходи тваринництва, як наголошується в стратегічних напрямках розвитку альтернативної енергетики є перспективними нетрадиційними джерелами для біоенергетики та біологічного землеробства, переходу АПК на екосистемний замкнутий цикл безвідходного виробництва.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1. Програма досліджень

Програма досліджень розроблена на основі екосистемного підходу згідно запланованих дисертаційних завдань. Тваринницька галузь розглядається як складова АПК в нерозривному зв'язку і взаємодією з рослинницькою галуззю та навколишнім середовищем. За таким принципом дослідження конкретних технологічних процесів об'єднані структурно–логічними зв'язками в розроблений загальний науковий проект (рис. 2.1)), що має на меті розробити і впровадити екобезпечний метод раціонального використання і утилізації гноєвих відходів свиней і посліду курей з використанням лабораторної біогазової установки.

Реалізація цих досліджень передбачала використання розробленої автором лабораторної біогазової установки зі спеціальними пристосуваннями для безвідходної утилізації гноєвих відходів.

Для зручності і послідовності виконання роботи експериментальна частина дослідження розбита на етапи: підготовчий і технологічний процес і технічне забезпечення та підсумковий аналіз результатів досліджень (рис. 2.1). Це дало можливість адаптувати методичні підходи до кожного з цих етапів.

Підготовчий етап включав «Екологічну і енергоресурсну характеристику сировини для бродіння (гною свиней і посліду курей)».

Для цього передбачено провести відбір зразків матеріалу в господарствах, провести їх хімічний і мікробіологічний аналіз і встановлення в ньому токсичних елементів і патогенних мікроорганізмів.

Розрахунковим методом, виходячи із даних: 1 доросла свиня дає за добу 1,7 кг гною, що еквівалентно 9687,79 см³ біогазу; 1 курка дає 0,04 кг

посліду за добу, 1,5 кг посліду курей дає 110200 см³ біогазу, визначити ресурсний потенціал цих відходів у господарствах за певний період і можливості їх використання для виробництва біогазу.



Рис. 2.1. Структурно–логічна схема модельного експерименту

Другий етап охоплює: процес бродіння підготовленої сировини; вибір і контроль режиму та проведення повного технологічного циклу утилізації з отриманням біогазу та високоякісних знезаражених і збагачених органічних добрив; вловлювання і переробку токсичних газових домішок біогазу та отримання метану і рідкого мінерального добрива.

Моделльні дослідження впливу режимів і умов метаногенезу на ефективність дегельмінтації, хімічний склад гною і посліду та кінетику об'ємного виходу газу з подальшим його хемосорбційним очищенням об'єднані в спільний дослід «Оптимізація умов метанового бродіння, виходу біогазу і покращення якостей гною і посліду».

Кожен із наведених вище етапів поєднано із проведенням якості зброджуваної сировини та визначенням об'єму виходу газу, що дає змогу встановити динаміку і кінцеві результати процесу бродіння на кожному етапі.

Третій етап – підсумковий аналіз результатів експериментальних досліджень, включає обґрунтування внесених змін в технологічний процес, переваг запропонованої лабораторної біогазової установки (завдяки додатковим пристроям), дослідження ефективності отриманого органічного добрива в польових виробничих умовах та підготовка рекомендацій виробництву.

2.2. Агрохімічна і енергоресурсна характеристики гною свиней і посліду курей та їх екологічна небезпека

Вихідним матеріалом для виконання досліджень процесу утилізації відходів тваринництва біогазовим методом були свинячий гній та курячий послід. Вони є одним із найбільш небезпечних джерел забруднення середовища в сільській місцевості. Відсутність або недостатній ветеринарно-санітарний контроль в невеликих господарствах за умовами утримання тварин та неконтрольоване використання їхніх гнойових відходів є

безпосередньою загрозою поширення інвазійних та інфекційних захворювань та забруднення ґрунту. Неправильне зберігання їх в умовах господарства є також джерелом забруднення повітря токсичними газами. Звідси випливає необхідність утилізації гнойових відходів, включно з її знезараженням, за допомогою біогазової установки. З цією метою були відібрані зразки гною свиней і посліду курей методом середньої проби для проведення їх агрохімічної оцінки і патогенності.

Свинячий гній для аналізу відбирали в фермерському господарстві Ратушняка І. П. з чисельністю поголів'я – 60 голів. Приміщення за нормою переповнене, не відповідає санітарно-гігієнічним нормам. Утримання тварин безпідстилкове. Підлога цементна. Гній видаляється вручну у гнойові ями і зберігається без обробки до весни. Перед внесенням його, як добрива, він не знезаражується і тому залишається джерелом потенційного забруднення ґрунту яйцями і личинками гельмінтів та збудниками інфекційних захворювань. Це підтверджено лабораторними дослідженнями зразків гною. Тому є недопустиме таке його зберігання та використання. Кормовий раціон свиней складається з висівкової суміші (пшениця, ячмінь, кукурудза, жито) та 5 % соєвого шроту). В літньо-осінній період перевага надається трав'яному корму (кропива, гичка буряків, деякі види бур'янової рослинності, плоди гарбуза тощо). Напування тварин вволю з автопоїлок.

Всі ці особливості утримання й годівлі тварин вплинули на хімічний склад гною, що підтверджується даними агрохімічного та мікробіологічного аналізів, зокрема рівня його інвазійного забруднення (табл. 2.1).

Зразки гною для аналізу відбиралися методом середньої проби, з врахуванням його неоднорідності в межах приміщення і часу. Аналізу підлягав свіжий гній твердої консистенції. Аналіз рідкої фракції (гноївка) не проводився.

Свинячий гній даного господарства можна охарактеризувати як кислий, з нормальним вмістом сухої речовини, невисоким вмістом Калію. Деякі вищі показники вмісту в ньому Фосфору та Нітрогену. Інвазованість

яйцями гельмінтів досить висока (до 100 шт. яєць в 1 г гною), що зумовлене незадовільним санітарно-гігієнічним станом кормів і приміщень. Тому гній свиней цього господарства, без попереднього знезараження, не можна використовувати для удобрення. Він повинен бути утилізований, шляхом метанового бродіння біогазовим методом.

Таблиця 2.1

Агрохімічний склад і патогенне забруднення свіжого свинячого гною господарства «Фермерське господарства Ратушняка І. П.»

Показники	Свинячий гній до бродіння
Кислотність, рН _{KCl}	6,50±0,06
Вологість, %	90±0,2
N заг, %	1,41±0,11
N амонійний, %	0,28±0,03
Загальний фосфор, %	0,93±0,06
Загальний калій, %	4,1±0,06
Орг. реч. (термогравіметричний м-д), %	36,7±0,02
Яєць гельмінтів в 1 г калу, шт. <i>Ascaris suum</i>	96,7±3,3
Загальне число бактерій, КУО/г	5,13±0,09×10 ⁶
Вміст бактерій групи кишкової палички, КУО/г	3,43±0,09×10 ³

Потенціальні запаси гною в господарстві невеликі: з розрахунку на одну голову 1,7 кг гною за добу, від всіх голів за добу до 100 кг, за місяць вони можуть становити – до 3000 кг.

2.2.1. Хімічний склад і патогенне забруднення курячого посліду, як критерій екобезпеки його застосування.

Свіжий курячий послід характеризується достатньою вологістю, лужною реакцією середовища, високою концентрацією сухої речовини, невисоким вмістом амонійного азоту, досить значним вмістом Нітрогену, Фосфору і Калію.

Агроекологічна оцінка дана за агрохімічним складом і інвазованістю (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Агрохімічний склад і патогенне забруднення курячого посліду ТзОВ «Самбірська птахофабрика».

Показники	Курячий послід до бродіння
Кислотність, рН _{KCl}	8,55±0,02
Вологість, %	78,0 ±0,6
N заг, %	1,87±0,09
N амонійний, %	0,65±0,05
Загальний фосфор, %	1,40±0,06
Загальний калій, %	5,40±0,03
Органічна речовина (термогравіметричний метод)	28,50±0,09
Яєць гельмінтів в 1 г калу, шт. <i>Ascaridia galli</i>	6,3±0,9
<i>Heterakis gallinarum</i>	10,7±0,7
Личинки гельмінтів підряду <i>Strongylata</i> поду <i>Syngamus</i>	12,3±0,9
Загальне число бактерій, КУО/г	1,83±0,17×10 ⁶
Вміст бактерій групи кишкової палички, КУО/г	3,63±0,066×10 ³

Курячий послід можна оцінити як висококонцентроване за вмістом NPK органічне добриво. Однак воно відзначається інвазійною забрудненістю

(29,3 яєць в 1 г калу). Потенціальний запас посліду курей – 6720 кг за добу, або 201600 кг за місяць.

Використання його для підживлення рослин потребує відповідного розведення та попереднього знезараження. Утилізація посліду за умови його накопичення в господарствах можлива за рахунок переробки в біогазовій установці.

2.3. Методи і методики досліджень

Для виконання дисертаційних досліджень були використані:

- лабораторні дослідження – для якісних і кількісних характеристик досліджуваних об'єктів (хімічний аналіз води, агрохімічний аналіз складу гною і посліду до і після бродіння, гельмінтоовоскопічний і гельмінтоларвоскопічний та мікробіологічний контрольні дослідження гною свиней і посліду курей до і після бродіння, хроматографічний аналіз біогазу;
- математико–статистичні методи – виявлення на основі математичної обробки даних функціональних залежностей між досліджуваними показниками для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу, біометричної обробки результатів дослідження;
- економічні (обґрунтування еколого–економічної ефективності технології отримання біогазу, біометану і органічного шламу);

Лабораторні дослідження, що вимагають спеціальних приладів, проводились у спеціалізованих лабораторіях з участю автора. Агрохімічний склад гною і курячого посліду – в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН України

Гельмінтоовоскопічний і гельмінтоларвоскопічний контроль на базі Державного науково–дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок (Лабораторія контролю дезінфікуючих та антигельмінтних препаратів).

Мікробіологічний аналіз – на базі Державного науково–дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок.

Хімічний склад води – в Інституті геології та геохімії горючих копалин НАНУ (Лабораторія проблем геології при відділі геології і геохімії твердих горючих копалин).

Хроматографічний аналіз біогазу виконали у ЦНВДЕ ЛДЦЗП «Львівенергоналадка».

Хемосорбційний метод очистки біогазу – у процесі утилізації гноєвих відходів з використанням пристроїв до біогазової установки.

Повний технологічний процес безвідходної утилізації гною і посліду проводився автором на виготовленій ним біогазовій установці в лабораторних приміщеннях кафедри екології та біології Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького та у виробничих умовах фірми «ІСТО».

В процесі проведення повного циклу утилізації гною свиней і посліду курей у біогазовій установці були використанні передбачені технологією методи контролю і коригування активності процесу бродіння та відповідні методики отримання біогазу, метану, органічного шламу та інших побічних продуктів.

2.3.1. Метод та пристрій для визначення подобового об'єму виділеного біогазу з курячого посліду і свинячого гною протягом всього циклу бродіння.

Для визначення об'єму біогазу використовували газгольдер з водяним запором. За об'ємом витісненої води, з врахуванням висоти водяного стовпа і діаметра ємності, визначали об'єм виділеного газу. При цьому брали до уваги щодобово виділений об'єм біогазу з курячого посліду і свинячого гною протягом всього циклу бродіння.

Лабораторні дослідження проводили в трикратній повторності. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel, Statgraphics Plus 2.1 та Statistica 10. Результати серійних значень вважали статистично вірогідними при $P < 0,05$ – *, $P < 0,01$ – **; $P < 0,001$ – ***.

Розрахунок здійснювали за формулою:

$$V_{\text{газу}} = S_{\text{кр}} \times h, \quad (2.3.1)$$

$$S_{\text{кр}} = \pi \times r^2 = 3,14 \times 5,15^2 = 83,3 \text{ см}^2, \quad (2.3.2)$$

де:

$V_{\text{газу}}$ – об'єм виділеного газу, см^3

$S_{\text{кр}}$ – площа дна ферментера, см^2

h – висота водяного стовпа, см

π – 3,14

r^2 – радіус дна ферментера, $\text{см} - 5,15$

2.3.2. Методика отримання комплексного рідкого мінерального добрива при очистці біогазу водою з використанням очисного пристрою.

Для проведення очистки біогазу водою використовувався очисний пристрій – резервуар, заповнений водою зі знімною герметичною кришкою, у верхній частині стінки якого, розташований патрубок з можливістю виконання резервуаром функцій водного запору та регулювання висоти запору між поверхнею води в резервуарі та кришкою в межах 20–30 мм. В нижній частині резервуару, на протилежних стінках розташовані два отвори з патрубками, один патрубок з можливістю подання в резервуар води, а другий з можливістю виведення готового рідкого мінерального добрива в окрему ємність.

Для досліджу було взято два види сировини (свинячий гній і курячий послід), які одночасно в різних ємностях були закладені у лабораторну біогазову установку для бродіння [128]. Біогаз, який утворився внаслідок бродіння гною, в мезофільному режимі, при температурі 34 °С, проходив по відвідній трубі в перший очисний пристрій (герметичний резервуар з кип'яченою водою) [130]. Біогаз, який утворювався при бродінні курячого посліду, проходив у другий резервуар з водою і там очищався з подальшим відводом в накопичувальні ємності.

Для одержання аміачної води потрібно через контрольну кип'ячену воду пропускати біогаз стільки разів, щоб концентрація амонію становила 20–25% (з вмістом N 16,4–20,5 %), що відповідає вимогам стандарту до аміачної води. В цьому випадку очисний пристрій (герметичний резервуар з однією і тою самою кип'яченою водою) використовували у кількох циклах бродіння, що починались із закладання свіжого гною. Домішки вуглекислого газу і сірководню в аміачній воді додатково видаляли осаджуванням вапном, або випаровували у відкритій посудині; CO₂ видалявся, а амоній залишався до необхідного значення рН, яке постійно контролювали. NH₃ теж випаровується і може утворити з вапном карбонат амонію – (NH₄)₂CO₃. При цьому потрібно враховувати, що після досягнення рН більше 7,5, амоній поступово починає переходити у леткий аміак, тому потрібно не допускати надмірного зростання лужності. Також визначали швидкість виділення CO₂ із води через певні інтервали часу і залежно від цього зміну рН води.

Хімічне дослідження вод, через які пропускали біогаз, проводили за такими показниками:

- 1) рН – згідно з ДСТУ 4077 – 2011 [229];
- 2) гідрогенкарбонати – згідно з ГОСТ 23268.3 – 78 [39];
- 3) карбонати – титрометричним методом [ДСТУ ISO 9963-2:2007];
- 4) вільний CO₂ – титрометричним методом;
- 5) сірководень – титрометричним методом [223];
- 6) амоніак і йони амонію згідно ГОСТ 4192 – 82 [41];

7) фосфати згідно ГОСТ 18309 – 72 [40];

8) розчинений O_2 : ДСТУ ISO 5813:2004 [180].

При цьому для нейтралізації надлишкової кислотності (за потребою) додавали вапно або випаровували вуглекислий газ.

2.3.3. Методика контрольованої утилізації шкідливих газів із біогазу

Для проведення способу контрольованої утилізації парникових газів з біогазу використовували воду після проведення очистки біогазу одного циклу бродіння. Біогаз під час очистки водою звільняється від мікроорганізмів і розчинних газів: вуглекислого, амоніаку і сірководню, які були живильним середовищем для цих мікроорганізмів.

У випадку, коли концентрація сполук Нітрогену у воді дуже велика (20–25%), бактерії інактивуються, може відбуватися апоптоз бактерій. Така велика концентрація Нітрогену у воді можлива у тому разі, коли через одну і ту ж саму воду герметичного очисного пристрою пропускають біогаз багатьох циклів бродіння. Після завершення бродіння ємність з такою водою витримуємо герметично закритою до утилізації газів.

Процес бродіння найінтенсивнішим був протягом перших семи днів. Біогаз, який утворився внаслідок бродіння гною, в мезофільному режимі при температурі 32–34°C проходив відвідною трубкою в очисний пристрій (герметичний резервуар з перевареною водою), де очищався з наступним надходженням у накопичувальну ємність. При цьому з біогазом у воду заносяться цінні біологічно корисні мікроорганізми, які утилізують шкідливі гази у воді. Очисну герметичну ємність з водою після завершення бродіння відставляли на очистку води від розчинених у ній газів і наявних солей мікроорганізмами протягом тижня часу. В іншому випадку із забірної камери наявний біогаз подавали в надводний простір очисного пристрою під тиском, так щоб витіснити половину води, через яку проходив очистку біогаз. При

цьому половина ємності була заповнена біогазом, а половина водою. На межі двох фаз газової і водної проходив процес вбирання газів водою. Ті гази, що вбираються водою, а особливо вуглекислий газ і амоніак розчиняються у ній і теж використовуватимуться бактеріями.

Процес очистки біогазу проходив при температурі 25 °С. На газовому хроматографі визначали азот і кисень через кожні три дні, а метан – протягом трьох тижнів.

Для запобігання інактивації аборигенних метанотрофних штамів мікроорганізмів потрібно контролювати очисну воду пристроєм для очистки біогазу на наявність азоту після кожного циклу бродіння в лабораторній біогазовій установці.

Щоденно, протягом шести днів, відбирали воду з очисного пристрою з метою виявлення бактерій, які заносилися біогазом. Для визначення їх попередньо готували предметне скельце і чашку Петрі, так щоб простерилізоване скельце поміщалося в ній і було накрите зверху для збереження стерильності. Попередньо промивали скельця і чашки Петрі у гарячій воді, протирали серветкою, після чого обробляли спиртом. Коли все висихало, на скельце наносили краплю води з очисного пристрою, після чого його поміщали в чашці Петрі, не допускаючи обнасення мікробами ззовні. Над полум'ям газового пальника підсушували нанесену краплю води на скельці, щоб не пересушити.

Для фарбування мікроорганізмів використовували набір, призначений для фарбування по Граму, який забезпечує чітку диференціацію грам-позитивних і грам-негативних мікроорганізмів. При цьому грам-позитивні мікроорганізми мають синьо-фіолетове забарвлення, грам-негативні – рожево-малинове.

У випадку наших досліджень на більшості мазків спостерігалось фіолетове забарвлення, що свідчило про наявність грам-позитивної мікрофлори.

Фотографування мазків з фіксованими мікробами здійснювали під мікроскопом OLYMPUS CX-41, окуляр – 10, об'єктив – 40.

2.3.4. Методика хемосорбційної очистки біогазу з додатковим отриманням рідких мінеральних добрив (аміачної води та сульфату амонію) і натрієвої соди

Для хемосорбційного способу очистки біогазу нашу біогазову установку додатково обладнано очисним пристроєм, наповненим водою і двома хемосорберами. Причому перший був наповнений концентрованою сульфатною кислотою, а другий – 10% водним розчином їдкого натрію. Всі вони герметично з'єднані між собою. Ввідні полімерні трубки в очисному пристрої і в хемосорберах занурені до дна ємностей з водою і хемосорбентами, а вивідні полімерні трубки знаходяться над поверхнею води і реактивів для виведення попередньо очищеного біогазу в наступну ємність.

При виконанні досліду було взято два види біоматеріалів (свинячий гній і курячий послід). Бродіння гною відбувалося в мезофільному температурному режимі при температурі 35°C. Спочатку було закладено один і той самий свинячий гній у два резервуари, а потім курячий, причому біогаз з одного резервуару проходив через воду очисного пристрою (герметична ємність, наповнена водою, через яку пропускають біогаз), а біогаз з другого резервуару через воду очисного пристрою (як при водній очистці). Потім біогаз поступав у перший хемосорбер, де хемосорбентом є концентрована сульфатна кислота, а тоді другий хемосорбер, де хемосорбентом є 10% водний розчин їдкого натрію.

Після очистки, біогаз надходить в накопичувальну ємність для його збору. У воді очисного пристрою біогаз частково звільнявся від вуглекислого газу, амоніаку і повністю від сірководню, потім надходить у перший хемосорбер, наповнений сульфатною кислотою, яка зв'язує амоніак з утворенням мінерального добрива – сульфату амонію, яке містить 21 %

Нітрогену і 24 % Сульфур. При утворенні цього добрива, що має нейтральне значення рН, здійснюють заміну першого хемосорбера. Потім по з'єднувальній трубці очищений від вуглекислоти і сірководню біогаз надходив у другий хемосорбер, наповнений 10% водним розчином лугу, який зв'язує вуглекислий газ. Заміну другого хемосорбенту здійснюють при випадінні осаду соди і просвітлінні рідини.

Отже, в процесі очищення біогазу з поетапним проходженням його через очисний пристрій з водою, через хемосорбери з хемосорбентами концентрованою сульфатною H_2SO_4 і 10% розчином $NaOH$, отримуємо очищений метан і мінеральні добрива NH_4OH і $(NH_4)_2SO_4$ та соду Na_2CO_3 .

Для здійснення технологічного способу очистки біогазу в конструкцію біоустановки було введено пристрій для видалення повітря [155], оскільки, при закладанні органічної маси, частина резервуара (генератора бродильної камери) залишається заповненою повітрям, маса під час бродіння збільшується в об'ємі і може потрапити в газозабірний кран і трубку відводу біогазу. А так як повітря містить кисень і багато азоту, то це могло б ускладнити процес очистки.

Хімічне дослідження складу біогазу здійснювали на хроматографі Кристал 2000. В процесі дослідження визначали якісний склад біогазу: вміст метану, вуглекислого газу.

2.3.5. Методи дослідження агрохімічного складу субстратів і продуктів ферментації

Для дослідження хімічного складу сировини брали зразки нерозведеного водою і неперебродженого курячого посліду і свинячого гною та розведеного водою і перебродженого при мезофільному температурному режимі та визначали такі показники:

1) рН органічної маси до бродіння і після – згідно з ГОСТ 27979–88 [207];

- 2) вологість – згідно з ГОСТ 26718– 85 [208];
- 3) органічну речовину (вуглець) – згідно з ГОСТ 27980 – 88 [209];
- 4) N загальний – згідно з ГОСТ 26715 – 85 [210];
- 5) N амонійний – згідно з ГОСТ 26716 – 85 [211];
- 6) загальний фосфор – згідно з ГОСТ 26717 – 85 [212];
- 7) загальний калій – згідно з ГОСТ 26718 – 85 [213].

2.3.6. Визначення ступеня інвазованості гною свиней і курячого посліду до і після бродіння за різних температурних режимів.

Дослідження впливу процесу бродіння на показники інвазованості гноевих відходів і органічного шламу проводились до і після процесу бродіння при мезофільних і термофільних температурних умовах. Попередньо, органічну масу розводили водою в співвідношенні 1:1. Тоді відбирали зразки курячого посліду і свинячого гною на виявлення кількості яєць і личинок гельмінтів. Після відбору проб ємності з свинячим гноєм і курячим послідом завантажували у ферментер.

Виявлення яєць гельмінтів здійснювали методом Фюллеборна (флотаційний метод). Для кількісного підрахунку яєць гельмінтів використовували методику В.Н. Трача (1981), яка не поступається за точністю зарубіжним методам підрахунку яєць гельмінтів в одній одиниці маси фекалій і може застосовуватись для порівняльного обліку інвазованості тварин до дегельмінтизації і після неї.

2.3.7. Дослідження кінетики загального числа бактерій і бактерій групи кишкової палички в процесі бродіння свинячого гною і курячого посліду залежно від температурних режимів

Для визначення кількості мікроорганізмів в 1 г проби застосовували метод послідовних десятикратних розведень з наступним висівом матеріалу

на поживні середовища. Мікрофлору гною тестували, висіваючи проби на селективні середовища. Ідентифікацію бактерій проводили згідно визначника Берджі.

Для дослідження наявності сальмонел наважку поміщали в колбу з пептонно-буферною водою. Інкубували при температурі 37°C упродовж 16-20 год. з наступним посівом на середовища з селеніт цистину та RV. Після інкубації, з накопичувальних середовищ бактеріологічною петлею проводили посів на чашки з твердими середовищами: діамантово – зелений фіолетово–червоний агар та вісмут–сульфіт агар з наступним інкубуванням.

Для виявлення БГКП застосовували середовище Ендо. Позитивна відповідь про наявність у досліджуваному об'єкті БГКП дається на основі визначення грамнегативних паличок і негативного оксидазного тесту.

2.3.8. Польові дослідження

З метою встановлення ефективності дії ферментованого гною свиней на ростові процеси рослин було закладено дослід на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті дослідного поля відділу землеробства і відтворення родючості ґрунтів Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН на ділянках 10 м² в таких варіантах:

- 1) контроль (без внесення добрива);
- 2) агрофон + прикореневе внесення добрива з розрахунку 3 т/га (3 кг на 10 м²);
- 3) агрофон + прикореневе внесення добрива з розрахунку 9 т/га (9 кг на 10 м²);
- 4) агрофон + прикореневе внесення добрива з розрахунку 6 т/га + N₁₂₀P₉₀K₉₀;
- 5) агрофон + N₁₂₀P₉₀K₉₀;

Посіви проведені рядковим способом, із шириною міжрядь 35 см на початку червня.

Об'єктом досліджень були контрольні рослини 30-денного віку. Їх на дослідній ділянці нараховувалось в середньому 15 шт. Таким чином, на одну рослину припадало відповідно – 200 г добрива у варіанті 2 та 600 г добрива – у варіанті 3. Ця кількість добрива вносились рівними частинами два рази у розведеному стані. Перше підживлення проведене 30-денним рослинам, друге – у фазі 7-9 листків. В процесі досліджень визначали висоту стебла, кількість листків та загальний стан рослини.

Також досліджувався вплив ферментованого добрива на ростові процеси коренеплодів редиски сорту Масляний гігант.

Дослід проводили на темно-сірих лісових ґрунтах Самбірського району. Досліджували вплив різних доз зброджуваного органічного добрива на врожай редиски сорту Масляний гігант, вміст нітратів у ній та нітратного, загального та лужногідролізованого азоту, гумусу у ґрунті з удобренням в таких варіантах: контроль (без ферментованого добрива з додаванням мінерального удобрення суперфосфатом і сульфатом калію по 10 г на 1м²), з внесенням ферментованого добрива в дозі 6 т/га, 10 т/га, 17 т/га, 20 т/га, 23 т/га, розвівши його 1:1 з водою. Норма висіву складала 204 насінин/м² в попередньо удобрений ґрунт. Глибина загортання насіння 2 см. Відстань між рядами 10 см. Полив проводили щоденно у другій половині дня.

Агрохімічні показники визначали згідно:

- 1) рН ґрунту – згідно ДСТУ ISO 10390-2001;
- 2) азот загальний – згідно з ГОСТ 26107-84;
- 3) азот лужногідролізований – згідно з ГОСТ 26951-86;
- 4) гумус – згідно з ДСТУ 4289:2004;
- 5) нітрати в редисці за методом ЦІНАО.

Вивчали появу сходів насіння на варіантах дослідів, обліковували вагу одного коренеплоду і урожайність коренеплодів з кожної дослідної ділянки.

Висновки до розділу 2

На базі існуючих типових методик досліджень у сфері біотехноенергетичної утилізації розроблені необхідні доповнення, адаптовані до програми і об'єкту досліджень.

Враховуючи особливості екосистемного підходу до діяльності об'єктів тваринництва, адекватним його вимогам є метод біотехноенергетичної утилізації гнойових відходів з використання біогазової установки.

Передбачені програмою досліджень завдання щодо оптимізації процесу безвідходної анаеробної утилізації гноевих відходів були поєднанні з розробкою технічних пристроїв для оптимізації процесів виробництва біогазу з одночасним отриманням санованого органічного шламу завдяки знешкодженню патогенних мікроорганізмів.

Дослідження хімічного складу гнойових відходів свідчать про певну залежність його від якісного і енергетичного складу кормів. Мікробіологічний аналіз досліджуваних зразків курячого посліду і свинячого гною вказує на перевищення допустимих норм патогенного забруднення.

Виявлені гельмінти та бактерії групи кишкової палички кількісно переважають у свинячому гної. небезпека їх для середовища і здоров'я людей підвищується ще й тим, що в індивідуальному секторі АПК свині переважають чисельно, порівняно з великою рогатою худобою. Це було враховано при розробці умов температурного режиму бродіння.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ШКОДОЧИННОСТІ ГНОЮ СВИНЕЙ І ПОСЛІДУ КУРЕЙ

3.1. Розроблення проекту лабораторної біогазової установки та додаткових пристроїв для безвідходної утилізації гнойових відходів

На сьогоднішній день відомі різні конструкції біоустановок [156, 158, 160, 161, 167], та не всі вони можуть бути застосовані в лабораторних умовах для науково–дослідницької роботи.

В основу проекту закладено розроблення вдосконаленої конструкції лабораторної біогазової установки і пристосування її до безвідходної утилізації гнойових відходів, шляхом процесу анаеробного їх зброджування, з метою отримання біогазу і органічного шламу у формі мінеральних добрив. За рахунок цих заходів забезпечується екологічність і економічна вигода процесу анаеробної утилізації.

Відповідно до цих вимог, було розроблено авторський проект і виготовлено лабораторну біогазову установку та оснащено її додатковими пристроями (рис. 3.1). Запропонована нами лабораторна установка для отримання біогазу [150] складається з резервуара (генератора бродильної камери), в якості якого використана скляна трилітрова банка, герметично закрита кришкою з гумовою прокладкою та газозабірним краном, який з'єднаний еластичною полімерною трубкою із затискачем із газозбірником (дволітрова банка, наповнена водою). Остання з'єднана за допомогою еластичної трубки, через отвір у герметичній кришці, з порожньою двохлітровою банкою з можливістю збирання води, витісненої, утвореним у генераторі, біогазом, що надходить у газозбірник. При цьому, у кришку генератора вмонтована гумова заглушка, з можливістю вводити, без

порушення герметичності генератора, спеціально підібрані хімічні реактиви для прискорення процесу бродіння гною. Як підігрівник сировини використані дві електричні лампи (60 Вт), які через термореле з'єднані з електричною мережею.



Рис. 3.1. Загальний вигляд лабораторної біогазової установки

Термореле забезпечує можливість регулювання заданої постійної температури у термокамері. Інтенсивне виділення біогазу з реактора настає при температурі біомаси в реакторі 32-40° С і триває до 15 діб. Схему розробленої нами «Лабораторної установки для отримання біогазу» [150], зображено на рис. 3.2.

Дана лабораторна установка є переносним малогабаритним пристроєм для отримання біогазу в лабораторних умовах, який дає можливість:

- підтримувати задану температуру протягом всього циклу бродіння біомаси (гною);

– за короткий термін встановити об'єм і якісний склад біогазу, який виділяється при фіксованих температурах перебігу процесу бродіння;

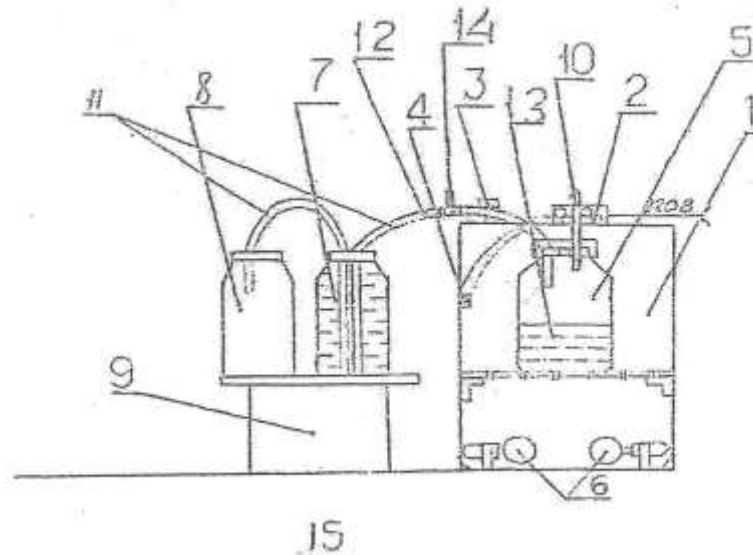


Рис. 3.2. Лабораторна установка для отримання біогазу:

1 – термокамера; 2 – термореле; 3 – регулюючий резистор, який є елементом термореле; 4 – датчик температури; 5 – резервуар–генератор (скляна 3–х літрова ємність з герметичною кришкою); 6 – лампочки підігріву; 7 – газозбірник (2–х літрова скляна банка з водою для накопичення біогазу); 8 – ємність для збору витісненої біогазом води; 9 – столик; 10 – контрольний термометр; 11 – трубка полімерна з'єднувальна; 12 – трубка полімерна з'єднувальна з роз'ємною муфтою; 13 – вміст резервуара-генератора (гній); 14 – кран газозбірний; 15 – гумова заглушка для введення (при необхідності і без порушення герметичності резервуара–генератора) хімічних реактивів, які прискорюють процес бродіння. При цьому трубки полімерні 11 і 12 ущільнюються з кришками банок 7 і 8 герметиком. Довжина трубок 11 і 12 підібрана такою, що кінці їх максимально наближені до дна ємності 7.

– встановити температуру або температурний діапазон, при якому виділяється максимальна кількість біогазу за мінімальної затрати електроенергії;

– отримання зразків органічного добрива для подальшого визначення кількості корисних для рослин таких хімічних елементів: Нітрогену, Фосфору, Калію.

Робота даної установки здійснюється таким чином, що спочатку прогрівається термостат (1) до заданої температури, завдяки наявності двох ламп (6), які під'єднані через термореле (2) до електричної мережі. Підтримання заданої температури забезпечує термореле, що регулює температуру в межах від кімнатної температури навколишнього середовища до + 60 °С. Спочатку гній перемішується з невеликою кількістю води (приблизно в пропорції 1 до 1, залежно від початкової вологості гною) і закладається в резервуар-генератор (5), причому до половини його об'єму. Це зв'язано з тим, що бродильна маса збільшується в об'ємі. Герметичність резервуара-генератора (5) забезпечується встановленням гумової прокладки і притисканням кришки до ємності спеціальним притискним гвинтовим пристроєм. Поряд з термостатом (1) встановлений столик (9), на якому встановлений газозбірник (7). Газозбірник з'єднаний полімерною еластичною трубкою (12) з резервуаром-генератором (5), наповненим гноем. Виділений біогаз надходить через полімерну трубку (12) у газозбірник (7), витісняючи воду в ємність (8), установлену на столику (9). Коли газозбірник (7) повністю наповниться біогазом (вся вода при цьому буде витіснена в ємність 8) – проводимо заміну газозбірника (7) і ємності (8) резервними.

Порядок заміни такий:

- 1) перекривають кран газозабірний 14, встановлений на кришці резервуара-генератора 5;
- 2) перегинають кінці трубок 11 і 12 і фіксують затискачами;
- 3) роз'єднують трубку 12 роз'ємною муфтою;
- 4) встановлюють резервний газозбірник 7 і ємність 8 з трубками 11 і 12;
- 5) з'єднують трубку 12 з краном газозабірним 14;

б) відкривають кран газозбірний.

Перевагами запропонованої лабораторної біоустановки, в порівнянні з існуючими лабораторними установками, є:

- 1) скорочення тривалості процесу бродіння (весь цикл бродіння триває 2–3 тижні, а не 4 місяці;
- 2) бродіння починається через півгодини від початку закладання біомаси в резервуар–генератор, тоді як у інших лабораторних через 20 днів;
- 3) дешевизна конструкції (термостат являє собою дерев'яну коробку, в стінках якого вмонтований термоізоляційний матеріал, він обладнаний терморегулятором, а як резервуар-генератор – застосована скляна трьохлітрова ємність із герметично закритою кришкою з гумовою прокладкою).

Отже, розроблена конструкція лабораторної біогазової установки зручна і має суттєві переваги для проведення дослідження процесу бродіння біомаси в лабораторних умовах, в результаті якого утворюється органічний шлам (високоякісне добриво) і біогаз – альтернативний замінник природного газу.

Біогазова установка доповнена пристроями для отримання й очищення біогазу й отримання рідкого мінерального добрива, пристроєм для видалення повітря з резервуар–генератора бродильної камери та іншими доповнюючими засобами контролю ходу процесу ферментування. Детальніший опис їх подається у підрозділі 3.3

Враховуючи особливості технології безвідходної утилізації гнойових відходів тваринництва, шляхом метанового бродіння, з метою виробництва біогазу і отримання знезараженого добрива, нами було передбачено комплексне дослідження впливу різних факторів на ці процеси.

Для цього було розроблено особливості технологічного процесу з врахуванням особливостей і характеристики свинячого гною і курячого посліду «ефективності впливу мезофільного й термофільного режимів на

продуктивність виходу біогазу і агрохімічні та мікробіологічні показники збродженої сировини».

Лабораторна біогазова установка може використовуватись в установах, що розробляють технічну документацію для виготовлення пристроїв для утилізації побутових відходів, а також в науково-виробничих установах, що розробляють окремі елементи технології виробництва біогазу з побутових відходів та відходів тваринницьких приміщень.

3.2. Дослідження виходу біогазу в процесі біоенергетичної утилізації відходів

Дослідження були зосереджені на встановленні залежності кількісного виходу біогазу від виду і якості бродильного субстрату, характеру бродіння свинячого гною і курячого посліду, їхньої енергомісткості тощо.

Кількісний вихід біогазу фіксувався щодобово в процесі повного циклу бродіння досліджуваної сировини в біогазовій установці за різних температурних режимів. Для визначення об'єму виходу біогазу використовувався додатковий технічний пристрій і методика розрахунку, що подані в розділі 2.

Отримані результати кінетики виходу біогазу впродовж 10-добового циклу подані в таблиці 3.1.

Встановлено, що з курячого посліду відбувається інтенсивніше виділення біогазу вже на другу добу, а згодом на шосту й сьому доби. На дев'яту добу і далі вихід біогазу стрімко сповільнюється і припиняється. Аналогічні дослідження свинячого гною показали, що інтенсивніше виділення біогазу вже з другої доби і досягнуло максимуму на четверту добу. На 9-ту добу і далі вихід біогазу різко сповільнюється і

припиняється, що зумовлено закінченням процесу бродіння (рис. А. 3.13 дод. А).

В цілому, характер кінетики ферментування свинячого гною подібний до курячого посліду, але уповільнений в часі на 24 години. Характер і продуктивність виходу біогазу з свинячого гною зумовлений особливостями хімічного складу, його енергетичним потенціалом й інтенсивністю бродіння за різних температур.

Таблиця 3.1

**Подобова кінетика виходу біогазу з курячого посліду і свинячого гною,
см³**

Тривалість бродіння, доба	Об'єм біогазу	
	із курячого посліду	із свинячого гною
1	874,6±14,4	749,7±9,0
2	1999,2±24,0	1666± 20,0
3	791,4±20,0	1832,6± 22,0
4	1582,7±22,0	1141,2±13,7
5	1082,9±33,0	1207,8±14,5
6	1666,0±30,0	982,9±11,8
7	1732,6±16,7	916,3±11,0
8	916,3±24,0	524,8±6,3
9	208,25±24,0	416,5±5,0
10	166,6±72,1	249,9±3,0
Сумарний	11020,6	9687,8

Підсумовуючи результати досліджень об'ємного виходу біогазу із різного бродильного субстрату, необхідно наголосити, що енергоресурсна

якість курячого посліду в 1,3 рази вища, ніж свинячого гною (табл. А. 3.1 дод. А).

Проведенні дослідження підтверджують також, що вихід біогазу в процесі зброджування гнойових відходів залежить і від комплексу різних технологічних факторів. Зокрема, для пришвидшення бродіння було проведено попередню підготовку бродильного матеріалу, в тому числі й попередній підігрів до початкової температури (34°C). Щодо температурного режиму в процесі бродіння, то він змінюється протягом циклу зброджування. Від них залежить активація діяльності різних груп метаногенних бактерій. Згідно літературних відомостей [21, 74, 192] за мезофільного режиму найбільш активне бродіння і газоутворення спостерігається в межах 37–41°C, а максимум виходу біогазу досягається при 39°C.

При переході до термофільного режиму в межах 43–46°C вихід біогазу зменшується. При 57–65°C має місце різкий спад генерування біогазу. Отримані нами дані добре узгоджуються із результатами досліджень вище наведених авторів.

3.3. Способи очистки біогазу, отриманого в процесі біоенергетичної утилізації свинячого гною і курячого посліду

3.3.1. Очистка біогазу водою та отримання рідкого мінерального добрива

Отриманий в процесі метанового бродіння гнойових відходів біогаз є сумішшю метану з іншими газами, що знижують його енергетичну якість. В його складі виявлено: CH_4 – 55–75%, CO_2 – 25–45%, NH_3 – 2%, H_2 – 1%, H_2S – 0,3%.

Для часткової (грубої) очистки біогазу застосовують: водяну очистку під тиском, етаноламінову очистку, очистку гарячим розчином соди [191].

Суть водяної очистки полягає в тому, що вода виступає як сорбент і, проходячи через неї, біогаз частково звільняється від деяких з газів, що розчиняються. За цих умов, вода збагачується мінеральними сполуками й стає комплексним мінеральним добривом і може бути використана для підживлення тепличних чи інших рослин [151].

Для здійснення даного способу було запропоновано пристрій для очищення біогазу водою [123, 152]. Пристрій ілюструється схемою (рис. 3.4).

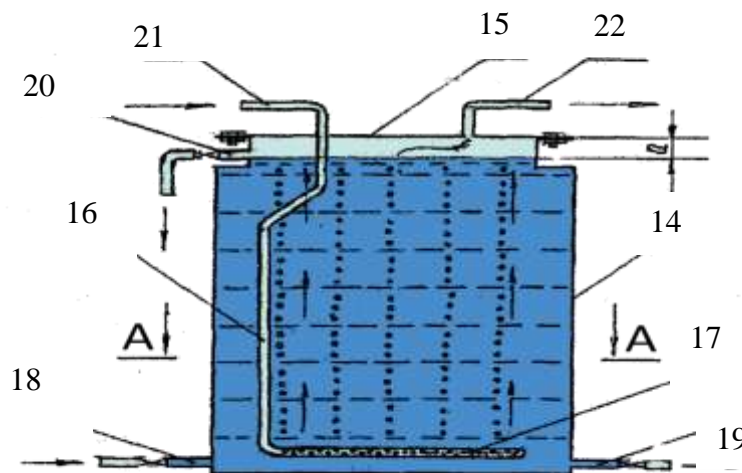


Рис. 3.4. Очисний пристрій для очистки біогазу і виробництва рідкого мінерального добрива

На рис. 3.4 показано схему очистки біогазу і виробництва рідкого мінерального добрива. Очисне устаткування складається з резервуара 14 з герметичною знімною кришкою 15, заповненого водою, яка виконує роль водяного запору, обладнаного патрубком для підведення біогазу на очистку 21, який з'єднаний з трубою 16 з перфорованою нижньою частиною 17. На знімній герметичній кришці встановлений відповідний патрубок для відведення біогазу 22. У верхній частині резервуару розміщений патрубок 20, який дає змогу забезпечити простір між поверхнею води і кришкою, який може становити 20–30 мм. Для з'єднання резервуару із кришкою є різьбове з'єднання (болт і гайка) 24.

Робота очисного пристрою полягає в тому, що біогаз від надлишкового тиску, близького до атмосферного, потрапляє з біотехногенератора через підвідний патрубок 21, трубу 16 з перфорованою нижньою частиною 17 і через отвори – у воду. Проходячи через воду, біогаз насичує її азотом, амоніаком, сірководнем і вуглекислою, накопичується у верхній частині резервуару і відводиться через відвідний патрубок 22. Циркуляція біогазу від біогазового генератора і проходження через запропонований пристрій здійснюється завдяки тиску газу, створеного біогазовим генератором, тому процес очистки біогазу і виробництво рідкого мінерального добрива із супутними мінеральними елементами не потребує додаткових енергозатрат і є економічно вигідним.

Один і той же очисний пристрій може використовуватись у багатьох циклах бродіння, що починаються із закладання свіжої біомаси. При досягненні концентрації амонійних сполук Нітрогену 16,4–25 % у воді, через яку пропускають біогаз, воду відбирають у герметичні ємності і застосовують для підживлення рослин, або зберігають при понижених температурах (цистерни з рідким мінеральним амонійним добривом зберігають прикопаними у землі) за умов промислового виробництва.

При проведенні досліду з водної очистки біогазу використовувалась кип'ячена водопровідна вода, яка була в якості контролю для порівняння з водою, отриманою після проходження через неї біогазу. Виконано хімічний аналіз обох видів води за одними й тими хімічними показниками. Досліджували зміни в складі води, отриманої при проходженні біогазу від бродіння свинячого гною при мезофільному режимі протягом 5 діб та від курячого посліду – протягом 5 діб і 10 діб. Дані подаються у відповідних таблицях 3.2 і табл. А. 3.2 дод. А. Отримана в процесі водної очистки вода, збагачена амонієм, може бути використана як мінеральне добриво.

Контрольними були хімічні показники проби кип'яченої води. У таблиці 3.2 порівнюється вода, отримана при водній очистці біогазу з курячого посліду і вода, отримана при очистці біогазу зі свинячого гною з

5-ти добовим проходженням біогазу через воду (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Порівняльний хімічний склад води, як сорбента, до і при 5-добовому проходженні через неї біогазу з курячого посліду і свинячого гною

Хімічні показники, мг/дм ³	Контроль (кип'ячена вода)	Склад води після 5-добового проходження через неї біогазу	
		з курячого посліду	з свинячого гною
pH	7,24±0,003	5,69±0,05***	5,33±0,044***
Гідрокарбонати (HCO ₃ ²⁻)	273,4±0,1	283,1±2,3*	197,7±2,2***
Вільна CO ₂	13,0±0,1	532,4±5,5***	792,4±21,3***
Сірководень (H ₂ S)	0,21±0,01	2,0±0,1***	4,1±0,1***
Іони амонію (NH ₃)	0,53±0,06	2,59±0,23***	0,05±0,03***
N- NH ₄	0,41±0,006	2,01±0,17***	0,04±0,03***
P	0,280±0,002	0,514±0,052*	0,236±0,024
K	0,09±0,01	0,167±0,013**	0,077±0,006*

Примітка: * - статистично вірогідні різниці у показниках хімічного складу води отриманої при очистці водою біогазу з курячого посліду і при очистці водою біогазу з свинячого гною в порівнянні до перевареної води: P < 0,05 – *, P < 0,01 – **; P < 0,001 – ***.

З результатів дослідження випливає, що рН води після проходження біогазу протягом 5 діб з курячого посліду та свинячого гною змінився в кислу сторону, порівняно з контрольною перевареною водою, на 1,55 і 1,91 одиниць відповідно на фоні різкого збільшення вмістів вільної CO₂ у 40,95 і 60,95 разів та сірководню у 10 і 20,5. Уміст амоніаку і іонів амонію (NH₄⁺) у воді, де очищався біогаз з курячого посліду збільшився у 4,88 рази, а зі свинячого гною навпаки, зменшився. Концентрація фосфатів у

1,84 рази вища у воді, де очищався біогаз з курячого посліду, а у разі свинячого гною, навпаки, менша на 0,84, порівняно з перевареною водою. Карбонатів (CO_3^{2-}) у воді чистій та насиченій газами з гнойових відходів не виявлено.

Результати досліджень також свідчать, що вільної вуглекислоти у воді, отриманій при проходженні біогазу з курячого посліду, менше у 1,5 рази (на 32,8 %), а рівень фосфатів у два рази вищий порівняно з водою, яку отримали після очистки водою біогазу зі свинячого гною. Амонію у воді, отриманій при очистці біогазу з курячого посліду більше у 52 рази. Такі зміни показали, що для утворення аміачної води швидший ефект досягається, тоді коли, через воду пропускати біогаз, що утворився внаслідок бродіння курячого посліду.

Для визначення впливу тривалості проходження біогазу з курячого посліду через воду на хімічний склад рідкого мінерального добрива його очищали водою на протязі 5 і 10 діб, що схематично зображено на рисунках 3.5.

З результатів досліджень випливає, що у воді, отриманій при очистці біогазу з курячого посліду протягом 5 і 10 діб, кислотність (рН) відповідно підвищується на 1,55 і 1,59 од., вміст вільної CO_2 зріс у 40,95 і 92,3 рази, сірководню у 10 і 15,6 раз, амоніаку і йонів амонію (NH_4^+) у 4,88 і 39,24 рази. Карбонати залишаються на практично незмінному рівні.

Зразок води, через яку проходив очистку біогаз протягом 10 діб, містила у 8 разів більшу кількість амонію ($20,8 \text{ мг/дм}^3$), у 2,3 рази більше вільної вуглекислоти, порівняно з водою з 5-добовим проходженням біогазу.

Отже, зі збільшенням тривалості проходження біогазу через воду очисного пристрою вода збагачується амонійними сполуками, що придатні для удобрення ґрунту.

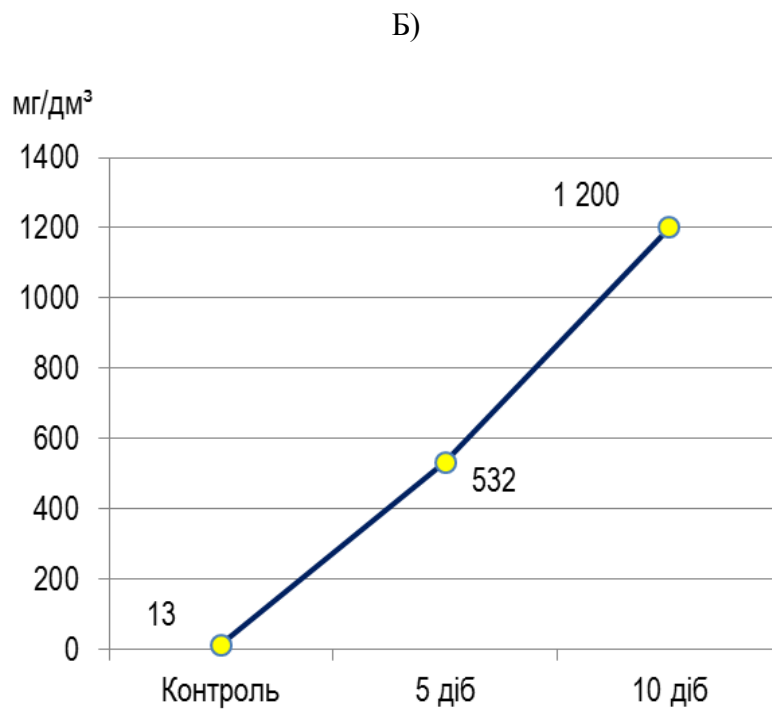
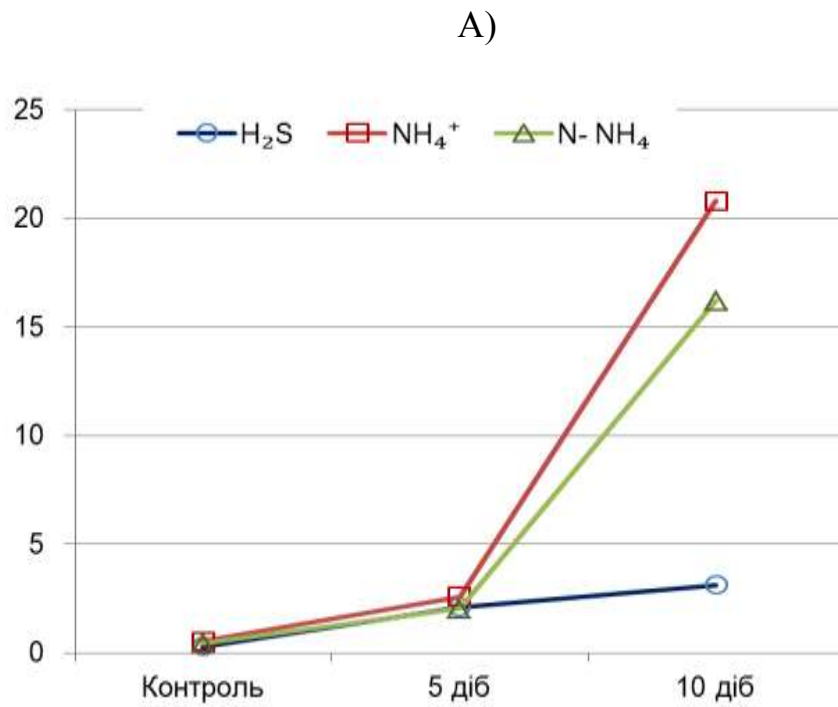


Рис. 3.5. Динаміка насичення води хімічними речовинами (А), насичення води вуглекислим газом (Б) залежно від тривалості проходження через неї біогазу з курячого посліду, мг/дм³

У таблиці 3.3 наведено розчинність у воді складових біогазу (CO_2 , NH_3 і H_2S) з 1 тонни гною свиней об'єм, якого становив 6458530 см^3 , після пропускання його через воду об'ємом 100 л.

Таблиця 3.3

Вміст у воді очисного пристрою розчиненого CO_2 , NH_3 і H_2S з біогазу з 1 тонни гною свиней, внаслідок очистки біогазу водою за один цикл бродіння

Субстрат	Складники від яких очищається біогаз об'ємом 6458530 см^3		
	CO_2 , г	NH_3 , г	H_2S , г
Вода, 100 л	87800 г	89900 г	380 г

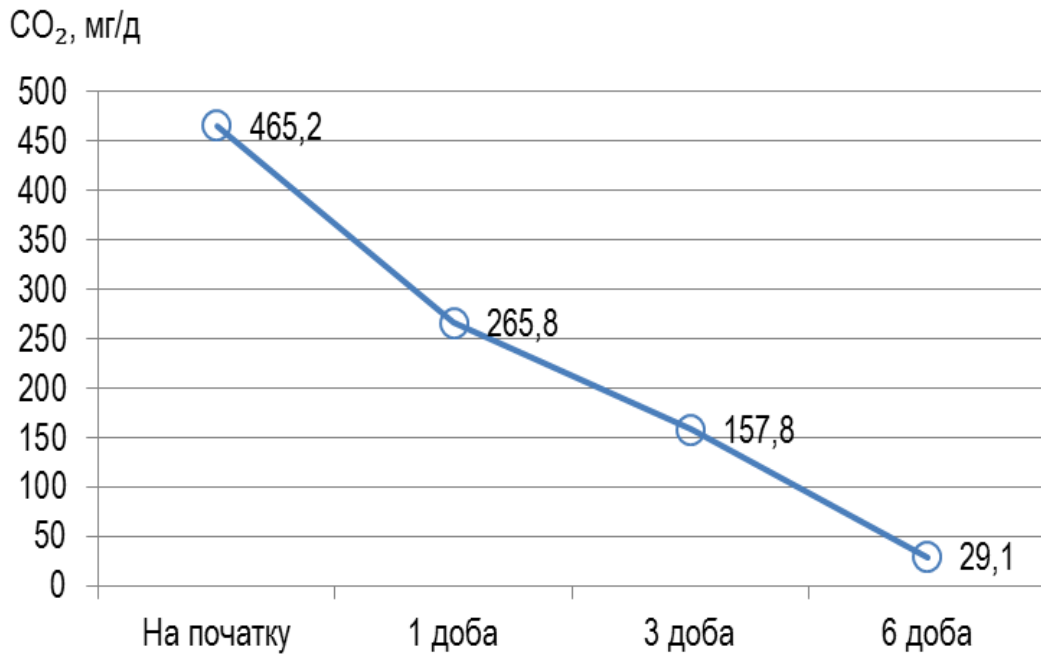
Контролюючи кількість циклів бродіння, а отже пропускання біогазу через воду одного і того ж пристрою можна досягти бажаної концентрації корисних удобрювальних елементів.

3.3.2. Розроблення способу контрольованої утилізації парникових газів біогазу з гнойових відходів тваринництва

Досліджено, що біогаз, який виділяється із біоустановки у герметичний очисний пристрій з водою, насичує воду асоціацією цінних біологічно корисних мікроорганізмів – метаногенними і метанотрофними формами, які здатні утилізувати шкідливий парниковий газ діоксин вуглецю – CO_2 , а також сірководень і аміак, які розчиняються у воді при очистці біогазу [122, 153].

Результати досліджень у цьому напрямі відображені на рис. 3.6 (дод., табл. А.3.3). Отримані результати свідчать, що у воді очисного пристрою (герметичного резервуару з перевареною водою) відбувається утилізація шкідливих газів біогазу за діяльності бактерій, які заносяться туди з біогазом, із бродильного субстрату.

А)



Б)

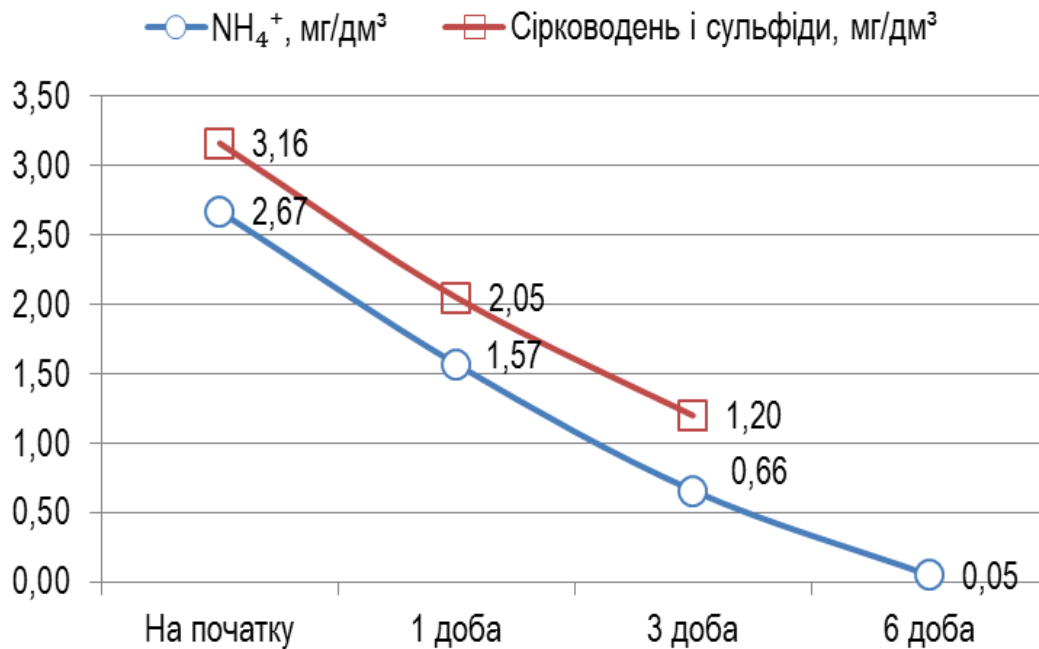


Рис. 3.6. Динаміка утилізації вуглекислого газу (А), амонію, сірководню й сульфідів (Б) у воді очисного пристрою залежно від життєдіяльності бактерій, мг/дм³

Досліджено, що біогаз, який проходить очистку водою, насичує її біологічно цінними поживними мінеральними сполуками, а також доповнює супутніми мікроорганізмами: метанотрофами (аероби) та метаногенами (анаероби).

В даному досліді, через воду проходив біогаз одного циклу бродіння, який тривав сім днів.

Після завершення повного циклу бродіння очисний пристрій від'єднали від біоустановки зі збереженням герметики, де відбувалася очистка води від наявних газів і солей бактеріями. При цьому зростає лужність розчину.

Вуглекислий газ, фосфати, аміак, сірководень майже повністю утилізуються. Кількість діоксиду вуглецю в розчині зменшується у 15,9 раза, сполук фосфатів у 16,8, аміаку у 53,4, сірководню у 2,63, гідрогенкарбонатів у 1,57 раза.

На рис. 3.7-3.12 зображено світлину мікрофлори очисного пристрою, яку відбирали щоденно протягом періоду бродіння зі збереженням герметичності даного пристрою (фарбування за Грамом).

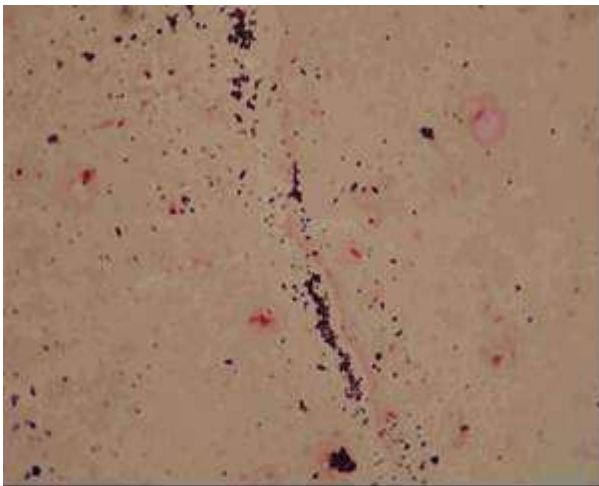


Рис. 3.7. Мікрофлора першого дня бродіння

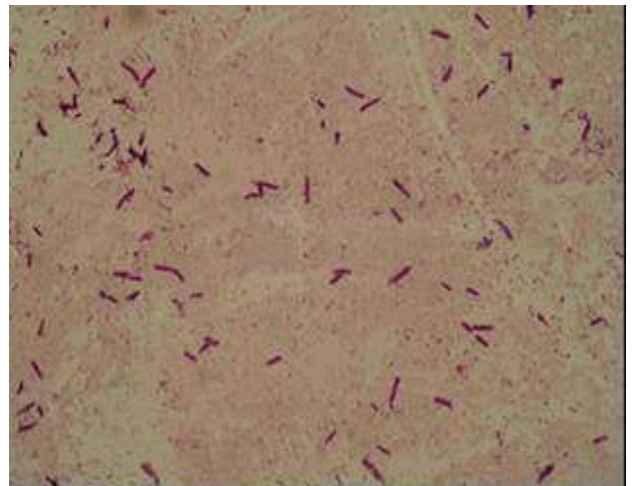


Рис. 3.8. Мікрофлора другого дня бродіння

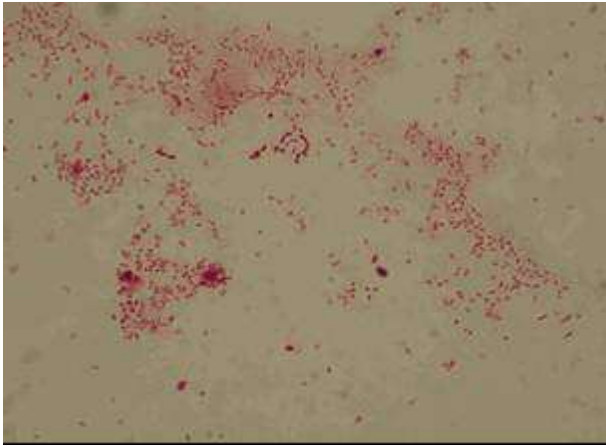


Рис. 3.9. **Мікрофлора третього дня бродіння**

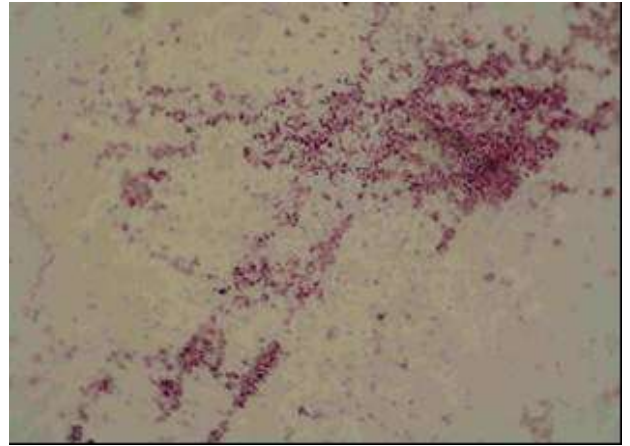


Рис. 3.10. **Мікрофлора четвертого дня бродіння**

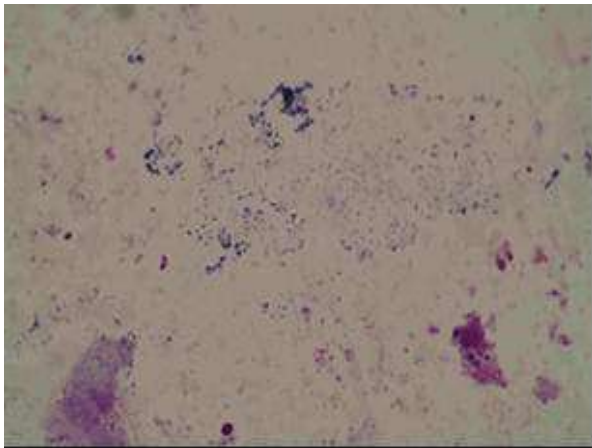


Рис. 3.11. **Мікрофлора шостого дня бродіння**

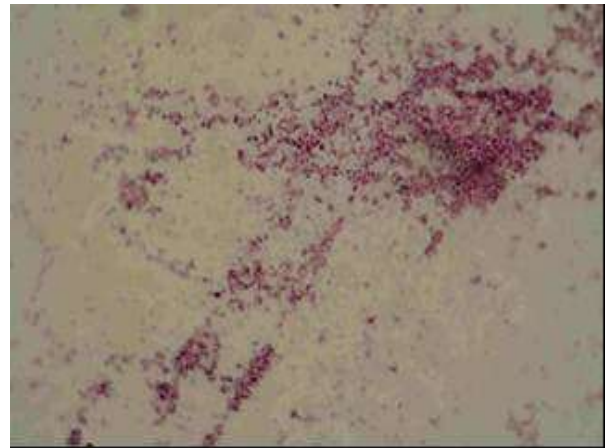


Рис. 3.12. **Мікрофлора, де надводний простір був наповнений біогазом**

Виявлено, що дані мікроорганізми утилізують шкідливі гази біогазу, які наявні у воді, протягом одного тижня.

3.3.3. Розроблення технологічного способу покращення якості біогазу

Запропоновану нами лабораторну установку для отримання біогазу було удосконалено пристроєм для видалення повітря з ємності резервуара–

генератора, яке надходить туди при закладанні органічної маси на бродіння [125, 155]. Схематичне зображення запропонованої лабораторної установки із технічним пристроєм для отримання очищеного біогазу показано на рис. 3.13.

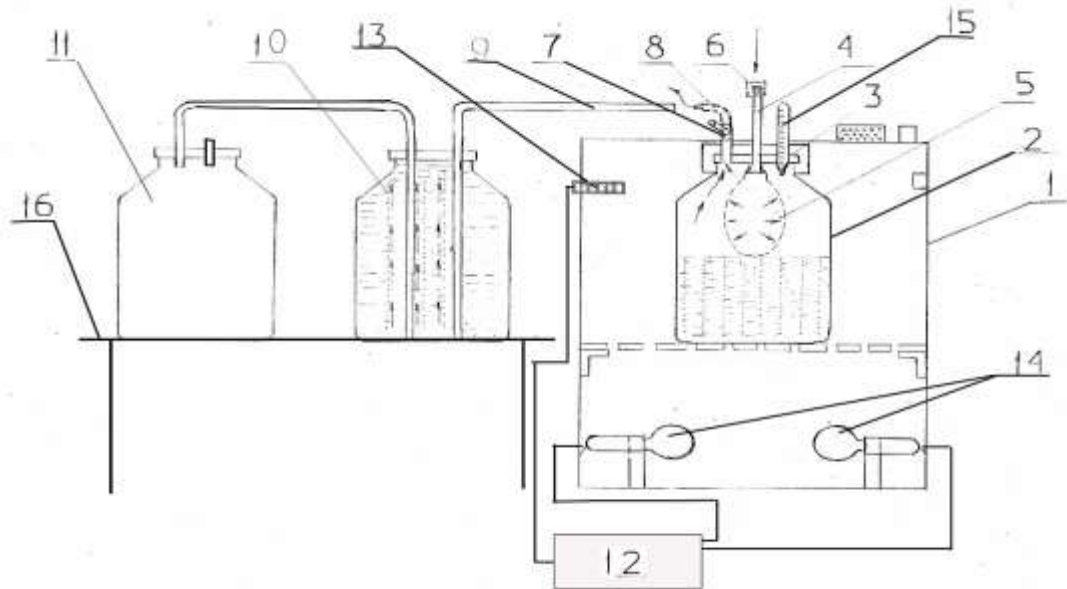


Рис. 3.13. Лабораторна біогазова установка з пристроєм для отримання очищеного біогазу:

1 – термокамера; 2 – резервуар–генератор; 3 – кришка резервуара-генератора; 4 – повітряний патрубок гумової кулі; 5 – гумова надувна куля; 6 – гумовий ковпачок заглушка; 7 – газозабірний шаровий кран; 8 – з'єднувальна полімерна трубка; 9 – трубка полімерна з'єднувальна з роз'ємною муфтою; 10 – газозбірник (газгольдер); 11 – банка для витіснення з газозбірника води; 12 – термореле; 13 – термодатчик; 14 – лампи; 15 – термометр ртутний; 16 – столик.

Запропонований нами пристрій для видалення повітря з ємності резервуара–генератора являє собою патрубок, який є встановленим у кришку резервуара–генератора і з'єднаний з надувною гумовою кулею, що міститься в ємності резервуара–генератора з можливістю витіснення і випускання атмосферного повітря, яке надходить в ємність при закладанні органічної маси на бродіння.

Принцип роботи цього пристрою здійснюється наступним чином: при подачі повітря в надувну гумову кулю вона збільшується в об'ємі, витісняючи повітря з простору резервуара–генератора, не заповненого біомасою, через відвідний газовий кран. При цьому газовий кран відкритий і від'єднаний від газозбірника. Коли повітряна гумова куля повністю витіснить повітря з резервуара-генератора, газовий кран перекриваємо, приєднуємо до газового крана полімерну трубку від газозбірника і відкриваємо кран, а також нагвинчуємо ковпачок на верхню різьбову частину патрубку гумової кулі. В просторі між наповненою повітрям гумовою кулею і стінкою резервуар–генератора встановлено патрубок з можливістю виходу утвореного біогазу.

Таким чином, простір над гноєм буде позбавлений залишків повітря, яке не потрапить з біогазом в газгольдер. Після цього регулюється необхідна температура і починається процес бродіння. Приблизно через 20 хвилин від початку бродіння стравлюють повітря із гумової кулі.

У випадку, якщо тиск біогазу недостатній і в резервуарі, при стравлюванні повітря із гумової кулі, встановлюється розрідження (що бачимо по руху води із накопичувальної ємності для біогазу в бік резервуара–генератора) – стравлювання припиняємо. Спроби стравлювання повітря продовжуємо по мірі підвищення тиску біогазу, що бачимо по витісненні біогазом води з полімерної трубки. Видалення домішок повітря дає можливість отримати біогаз (табл. 3.4), який складається із 70% метану і 30% вуглекислого газу [155].

На відміну від відомих способів покращення якості біогазу, запропонований спосіб не є енергозатратним і простий у використанні.

Принцип роботи запропонованого пристрою може використовуватись на промислових біогазових установках

Отже, запропонований пристрій забезпечує:

1) видалення повітря із ємності резервуара–генератора, яке займає половину його об'єму, з одночасним видаленням азоту повітря;

2) створення анаеробних умов, необхідних для життєдіяльності анаеробної метаногенної мікрофлори;

3) усунення можливості змішування біогазу з повітрям, тобто зменшення вибухонебезпечності газової суміші.

Таблиця 3.4

Порівняльні показники хімічного складу біогазу (%) з курячого посліду до і після очистки, з видаленням повітря

Хімічний склад біогазу	Без використання пристрою для видалення повітря	З використанням пристрою для видалення повітря
CH ₄	52,26 ± 0,51	70,11 ± 0,06***
CO ₂	40,96 ± 0,52	29,72 ± 0,18***
N ₂	4,18 ± 0,12	–
O ₂	1,93 ± 0,03	–

Отже, видаливши повітря з резервуар–генератора біогазової установки, технологічним шляхом можна зменшити енергозатрати на очистку, збільшити концентрацію метану, а також покращити якість біогазу і, відповідно, його теплотворну здатність.

3.3.4. Хемосорбційний спосіб доочистки біогазу й утилізації його домішок

Водна очистка біогазу є ефективною лише за умови його повторної очистки. Вода для кращого розчинення газів має бути холодною [161]. Хемосорбційна очистка є селективною. На сьогоднішній день, в основному використовують такі сорбенти: для очистки газу від H₂S використовують абсорбент на основі водного розчину комплексу металу, переважно хелату Феруму з використанням алюмоферумооксидного каталізатора [166], а також гранульованого гідроксиду феруму (II) Fe(OH)₂. Для очистки від CO₂

використовують водний розчин метилдіетаноламіну [162], розчин моноетаноламіну [169] та абсорбційну амінову очистку.

У всіх відомих способах передбачається після проведення хемосорбційної очистки видалення зв'язаних супутніх метану шкідливих газів із хемосорбентів, шляхом регенерації, що несе додаткові енергозатрати на цю регенерацію.

У разі запропонованого нами хемосорбційного способу очистки відбувається безповоротне зв'язування шкідливих газів з утворенням кінцевих корисних продуктів (рідкого мінерального добрива, сульфату амонію та соди). При цьому передбачається проведення очистки біогазу водою, хемосорбентами та застосування технологічних прийомів покращення якості біогазу [124].

Нами також запропонований спеціальний пристрій, для тонкої очистки біогазу хемосорбційним методом (рис. 3.11) з використанням як сорбентів води, концентрованої H_2SO_4 та 10% розчину $NaOH$ [151].

Схему очистки біогазу з використанням хемосорбентів показано на рис. 3.14.

Спочатку біогаз проходить очистку водою, після чого поступає в перший хемосорбер. Біогаз в першому хемосорбері, за допомогою концентрованої H_2SO_4 , звільняється від NH_3 , а в другому хемосорбері, з 10% водним розчином $NaOH$, звільняється від вуглекислоти.

Заміну хемосорбенту в першому хемосорбері здійснюють тоді, коли отримаємо добриво – $(NH_4)_2SO_4$, де рН добрива має бути нейтральним, з вмістом Нітрогену не менше 20,8 %, вільної сульфатної кислоти не більше 0,025–0,050 %; у другому хемосорбері тоді, коли провітліє рідина і випаде осад соди.

При цьому багаторазове пропускання біогазу від кількох циклів бродіння через воду і хемосорбенти сприяє збільшенню концентрації корисних елементів у воді та хемосорбентах.

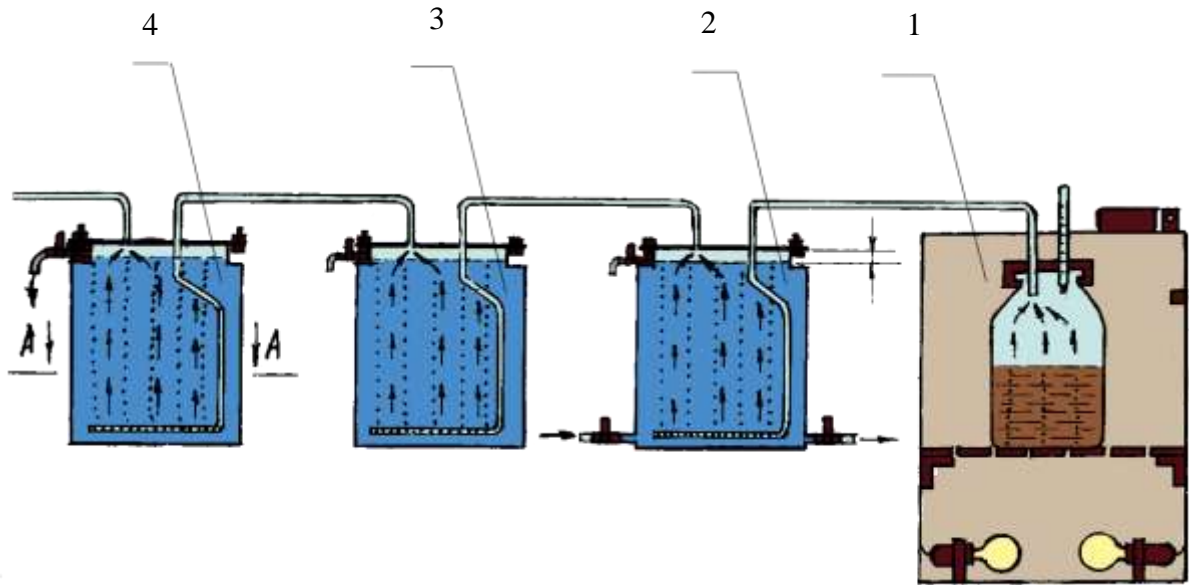


Рис. 3.14. Схема хемосорбційної очистки біогазу:

- 1 – лабораторна установка для отримання біогазу;
- 2 – пристрій для одержання і очищення біогазу з утворенням рідкого мінерального добрива, заповнений перевареною охолодженою водою;
- 3 – перший хемосорбер містить концентровану H_2SO_4 ;
- 4 – другий хемосорбер містить 10% водний розчин $NaOH$;
- 5 – накопичувальна ємність для збору біогазу.

У таблиці 3.5 наведено порівняння хімічного складу біогазу з посліду курей після очистки водою і після очистки хемосорбентами.

Таблиця 3.5

Порівняльні показники хімічного складу (%) біогазу отриманого з посліду курей до і після очистки водою і хемосорбентами

Хімічний склад біогазу	Після очистки водою	Після очистки хемосорбентами
CH_4	$66,45 \pm 0,31$	$97,11 \pm 0,23^{***}$
CO_2	$32,91 \pm 0,07$	$2,63 \pm 0,07^{***}$

У таблиці 3.6 наведено порівняння хімічного складу біогазу з гною свиней після очистки водою і після очистки хемосорбентами.

Таблиця 3.6

Порівняльні показники хімічного складу біогазу з гною свиней до і після очистки водою і хемосорбентами

Хімічний склад біогазу	Після очистки водою	Після очистки хемосорбентами
CH ₄	59,51 ± 0,96	95, 02 ± 0,45***
CO ₂	40,02 ± 0,13	4,90 ± 0, 04***

Для здійснення запропонованого способу необхідна герметичність з'єднань між собою елементів біогазової установки та пристрою для очистки біогазу, першого і другого хемосорберу з накопичувальною ємністю.

Такий спосіб очистки біогазу забезпечує практично повне видалення з нього сторонніх домішкових газів і отримання біометану як енергетичного продукту процесу горіння (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Горіння очищеного біогазу

Отже, запропонований спосіб хемосорбційної очистки біогазу забезпечує не тільки отримання біогазу, очищеного від сірководню, амоніаку та вуглекислоти, але й додаткове отримання високоефективних добрив у формі гідроксиду амонію (NH_4OH) з концентрацією 20-25% (із вмістом Нітрогену не менше 16,5-20,5%) та сульфату амонію і соди.

3.4. Отримання екобезпечного добрива в процесі біоенергетичної утилізації гнойових відходів тваринництва

3.4.1. Дослідження впливу метанового бродіння на агрохімічний склад і якісні показники свинячого гною і курячого посліду

При виборі технологічного режиму зброджування гноевих відходів потрібно виходити зі кінцевої мети: отримання біогазу чи добрив, знезараження гною. Переважно дослідження стосуються питань технології виробництва біогазу з різного виду відходів і досягнення максимальної продуктивності процесу з економією затрат. Використання гною як безпечного органічного добрива потребує комплексних досліджень і, зокрема, ролі біогазового виробництва в цьому. Літературні відомості щодо цих питань висвітлені нами в літературному огляді. Наголошується, що мезофільний режим бродіння позитивно впливає на агрохімічний склад ферментованих гнойових відходів. Отриманий від бродіння органічний шлам не втрачає удобрювальної цінності [189].

Модернізована нами лабораторна біогазова установка забезпечила проведення досліджень особливостей зміни агрохімічних якостей свинячого гною і курячого посліду під впливом діяльності метаногенних бактерій. Дослід проводився за мезофільного режиму.

Дослідження хімічного складу курячого посліду (і свинячого гною) до і після бродіння нами здійснено з метою оцінки впливу процесу бродіння на їх агрохімічні показники.

У таблиці 3.7 подана порівняльна характеристика хімічного складу посліду курей до і після бродіння.

Таблиця 3.7

Агрохімічний склад курячого посліду і органічного шламу, отриманого після ферментації в біогазовій установці

Показники	Курячий послід	
	до бродіння	після бродіння (органічний шлам)
Ступінь кислотності, рН _{kcl}	8,55±0,02	8,53±0,01
Вологість, %	78,1±0,2	77,2±0,3*
N заг., %	1,87±0,21	1,85±0,14
N-NH ₄ , %	0,65±0,05	1,03±0,03**
Загальний фосфор, %	1,41±0,06	1,41±0,05***
Загальний калій, %	5,40±0,03	5,39±0,02***
Орг. реч., %	28,5±0,04	18,5±0,12

Досліджуючи курячий послід, виявлено, що вологість після ферментації зменшилась у 1,01 рази. Уміст загального нітрогену зменшився у 1,01 рази, а N-NH₄ збільшився у 1,6 рази. Умісти загального фосфору і калію практично не змінилися. Вміст органічної речовини зменшився у 1,54 рази, що характеризує інтенсивність мінералізаційного процесу.

З результатів наших досліджень бачимо, що органічна речовина мінералізується, збільшується вміст мінеральних, легкодоступних для рослин форм поживних елементів. Звідси впливає екологічна роль зброженої маси, яка полягає в тому, що збільшується кількість елементів мінерального

живлення, необхідних для життєдіяльності рослин і мікроорганізмів у доступних формах. Це сприятиме гумусоутворенню, збільшенню родючості ґрунту і буферній здатності.

При порівнянні агрохімічного складу свинячого гною до і після бродіння (табл. 3.8) виявлено, що вміст Nзаг. зменшився у 1,02 рази, а N-амонійний збільшився у 2,3 рази.

Таблиця 3.8

Агрохімічний склад свинячого гною і добрива, отриманого після ферментації в біогазовій установці

Показники	Свинячий гній	
	до бродіння	після бродіння
Кислотність, рН _{ксі}	6,50±0,06	6,71±0,3
Вологість, %	90±0,2	89,1±0,2***
N заг., %	1,41±0,11	1,38±0,13
N-NH ₄ , %	0,28±0,03	0,65±0,16***
Загальний фосфор, %	0,93±0,06	0,92±0,03***
Загальний калій, %	4,10±0,06	4,09±0,13*
Орг. реч., %	36,7±0,2	24,6±0,1***

Вмісти загального фосфору і калію залишилися без змін. Вміст органічної речовини зменшився у 1,49 рази. Водневий показник (рН) свинячого гною близький до нейтрального.

З літературних даних відомо, що мінералізація у природному гної становить 40%, у перебродженій масі – 60%, внаслідок чого при анаеробному зброджуванні гною в чотири рази підвищується вміст N-NH₄ (20-30% N органічного переходить в амонійну форму), а вміст засвоюваного фосфору подвоюється, порівняно із незбродженим [137, 196].

Отже, гнойові відходи після процесу ферментативного зброджування набувають якості високоефективних органічних добрив, застосування яких

здатне підвищити родючість ґрунту. Вони містять в собі доступні для засвоєння рослинами форми елементів мінерального живлення. Після бродіння органічна маса набуває темніше забарвлення, що може свідчити про появу темнозабарвлених гумінових сполук.

3.4.2. Дослідження впливу температурного режиму і динаміки бродіння на бактеріальне забруднення та інвазованість ферментованого добрива

Результати проведених нами в цьому аспекті досліджень включають досліди з визначенням рівня гельмінтної інвазованості свинячого гною і курячого посліду залежно від режиму їхнього зброджування та інтенсивності процесу бродіння.

Головна увага була зосереджена на виявленні впливу температурного мезофільного і термофільного режимів бродіння на ефективність дегельмінтації. Визначали кількість яєць і личинок гельмінтів в 1 г маси гнойових відходів. Результати досліджень подані в таблицях 3.9 та 3.10.

З даних таблиці 3.9 видно, що після бродіння курячого посліду в мезофільному температурному режимі кількість яєць гельмінта *Ascaridia galli* зменшилась у 2,3 рази, *Heterakis gallinarum* – у 2,5 рази, а личинок гельмінтів підряду *Strongylata* роду *Syngamus* – у 1,48 рази.

При термофільному температурному режимі після бродіння кількість личинок підряду *Strongylata* роду *Syngamus* була меншою у 2,86 рази, однак вони виявились нежиттєздатними, аморфними.

Досліджувався також свинячий гній при обох температурних режимах і при мезофільному температурному режимі за різної активності процесу бродіння, що наведено у таблиця 3.10.

Таблиця 3.9

Вплив метанового бродіння на дегельмінтацію курячого посліду

Вид гельмінта	Кількість яєць гельмінтів в 1 г калу		
	курячий послід (до бродіння)	мезофільний режим (кінець бродіння)	термофільний режим (кінець бродіння)
<i>Ascaridia galli</i>	6,3±0,9	2,7±0,3**	не виявлено
<i>Heterakis gallinarum</i>	10,7±0,7	4,3±0,3**	не виявлено
Личинки гельмінтів підряду <i>Strongylata</i> роду <i>Syngamus</i>	12,3±0,9	8,3±0,9*	4,3±0,9* (відмерлі)

Примітка: статистично вірогідні різниці у показниках кількості яєць гельмінтів після бродіння в порівнянні до контролю: $P < 0,05$ – *, $P < 0,01$ – **.

Дані таблиці 3 свідчать про те, що свинячий гній зі значним рівнем забруднення яйцями гельмінтів свинячою аскаридою представляє небезпеку для здоров'я людей за умови внесення його в ґрунт без попереднього знезараження.

Виявлено, що мезофільний температурний режим в межах 34–38°C не забезпечує повного відмирання інвазійних збудників, їх дезактивації. Особливо це стосується невисокої інтенсивності бродильного процесу. З підвищенням активності його спостерігається підвищення ефективності дегельмінтації, та кількість життєздатних яєць гельмінтів все ще висока (до 30% і вище, залежно від термовитривалості виду гельмінта). Лише активний характер бродіння (активне виділення бульбашок біогазу, які проходять через воду очисного пристрою) при підвищенні температури вище 50°C забезпечив повне відмирання і аморфність яєць гельмінтів.

Таблиця 3.10

Вплив метанового бродіння на дегельмінтацію свинячого гною

Вид гельмінта	Число яєць гельмінта у 1 г калу			
	Контроль	мезофільний режим		термофільний режим
	свинячий гній (до бродіння)	слабке бродіння (кінець)	активне бродіння (кінець)	кінець бродіння
<i>Ascaris suum</i>	96,7 ± 3,3	46,5 ± 1,4***	2,3 ± 1,01***	не виявлено
<i>Oesophagostomum spp.</i>	7,5 ± 1,04	4,3 ± 0,3*	2,7 ± 0,3*	не виявлено

* - (подані дані повторного дослідження з вдосконаленням контролю температурного режиму).

Отже, результати наших досліджень свідчать про наступне. Після бродіння в мезофільному температурному режимі посліду курей спостерігається зменшення кількості яєць гельмінтів, порівняно з масою до бродіння, кількість личинок зменшилась в 1,48 рази, а при термофільному температурному режимі яйця гельмінтів були відмерлі, кількість личинок зменшилась у 2,86 рази (відмерлі).

Встановлено, що при активному бродінні в мезофільному температурному режимі у гною свиней відмічається більша ступінь зменшення кількості яєць гельмінтів, ніж при слабкому, а при термофільному режимі бродіння вони повністю відмирають.

Окремо було проведено дослідження впливу температурного режиму бродіння на динаміку відмирання бактерій групи кишкової палички (БГКП КУО, г) та загального обсіменіння (МАФАНМ КУО, г), виявленого в

свинячому гної і курячому посліді. Мікробіологічний аналіз дослідних зразків показав, що загальне число мікроорганізмів в них значно переважає гранично допустимі норми. Високий рівень мікробного обміненія небезпечний тим, що в складі їх є як сапрофітні, так і патогенні мікроорганізми аеробні і факультативні анаероби. Потрапляння яких в навколишнє середовище може спричинити інфікування і захворювання живих організмів.

Для зниження рівня бактеріального забруднення гною і відмирання патогенних мікроорганізмів бродіння проводили при різних температурних режимах протягом трьох тижнів. Температурний режим змінювався так: перший тиждень 34–36°C, другий тиждень – 36–38°C, третій тиждень – 48°C і 65°C (протягом двох днів).

Проби відбирали на різних (за тривалістю) етапах бродіння і при різних температурних режимах. Результати представленні в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Кінетика загального числа бактерій і бактерій групи кишкової палички в процесі бродіння свинячого гною.

Тривалість бродіння	Температурний режим, °C	Загальне число бактерій, КУО/г, $M \pm m$	Вміст бактерій групи кишкової палички, КУО/г, $M \pm m$
Початок – перший тиждень	до 34–36°C	$5,13 \pm 0,09 \times 10^6$	$3,43 \pm 0,09 \times 10^3$
Другий тиждень	36–38°C	$7,3 \pm 0,06 \times 10^5$	$3,4 \pm 0,09 \times 10^2$
Третій тиждень	48°C	$4,16 \pm 0,03 \times 10^5$	$2,26 \pm 0,14 \times 10^2$
Третій тиждень	65°C	$2,46 \pm 0,29 \times 10^2$	$25 \pm 1,5$
	ГДК	$1,0 \times 10^3 - 1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^2$

Аналіз характеру кінетики зниження рівня бактерійного осіменіння свинячого гною показав, що мезофільний режим бродіння в межах 34 – 38 °С знижує його показник лише на один порядок (в межах значень 10^5 в 1 г гною). Причому зменшення загального обсіменіння було поступовим.

Він не забезпечує досягнення загальноновстановлених вимог гранично допустимих концентрацій (ГДК). Такий характер відмирання можна пояснити тим, що в складі загальної групи мікроорганізмів переважають види із значно вищою термостійкістю.

Деяко інший вплив мала різка зміна температури і перехід бродіння на термофільний режим. Різко знизилось загальне число бактерій при досягненні 65°C, їх вміст за рахунок масового відмирання, знизився в кінці до $2,46 \pm 0,29 \times 10^2$. Виявилось, що такі температури стали згубними для значної кількості мікроорганізмів. Крива відмирання опустилась вниз на 3 порядки до 10^2 , що відповідає нормам гранично допустимих концентрацій з певним числовим значенням

Кінетика відмирання бактерій групи кишкової палички за впливом температурного режиму значно подібна до динаміки зменшення загального числа бактерій. Однак, протягом першого і початку другого тижня відмічене деяке (на порядок) підвищення вмісту бактерій БГКП, чому сприяв мезофільний температурний режим. Термофільна стійкість забезпечувала їх виживання навіть за умов 48°C, але виявилась згубною температура вище 60°C. Тому із $2,26 \pm 0,14 \times 10^2$ кількість бактерій групи кишкової палички знизилась до кількох – $25 \pm 1,5$ (ГДК= $1,0 \times 10^2$). Це означає, що різкий перехід на такий високотемпературний режим робить гній стерильним навіть від корисної мікрофлори, та робить його абсолютно безпечним для використання. Однак, порівнюючи дані кінетики відмирання бактеріальної мікрофлори гною, за умов відсутності збудників інфекційних хвороб можна обмежитись температурою 48°C. Сальмонел у свинячому гної не виявлено.

Досліджувався також вплив температурного режиму бродіння на динаміку відмирання бактерій групи кишкової палички (БГКП КУО, г) та загального обсіменіння (МАФАНМ КУО, г) у курячому посліді (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Кінетика загального числа бактерій і бактерій групи кишкової палички в процесі бродіння курячого посліду

Тривалість бродіння	Температурний режим, °С	Загальне число бактерій, КУО/г, $M \pm m$	Вміст бактерій групи кишкової палички, КУО/г, $M \pm m$
Початок – 1 тиждень	до 34–36°С	$1,83 \pm 0,17 \times 10^6$	$3,63 \pm 0,066 \times 10^3$
Другий тиждень	36–38°С	$2,26 \pm 0,088 \times 10^5$	$2,76 \pm 0,03 \times 10^2$
Третій тиждень	45°С	$3,43 \pm 0,066 \times 10^5$	$6,23 \pm 0,066 \times 10^2$
Третій тиждень	65°С	$2,56 \pm 0,088 \times 10^2$	$3,4 \pm 0,057$
	ГДК	$1,0 \times 10^3 - 1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^2$

Мікробіологічні аналізи курячого посліду на вміст бактеріальних клітин групи БГКП та на рівень загального осіменіння показали, що зразки його містять меншу бактеріальну забрудненість, ніж свинячого гною.

Щодо інтенсивності зниження рівня загального бактеріального обсіменіння та забруднення патогенними бактеріями групи кишкової палички, то кінетичні криві їх мають подібний характер. Це стосується і свинячого гною.

Загальне число бактерій у курячому посліді від початку бродіння при мезофільному режимі протягом двох тижнів знизилось на один порядок (з $1,83 \pm 0,17 \times 10^6$ до $2,26 \pm 0,088 \times 10^5$ КУО, г).

Бродіння в термофільному температурному режимі при 65°С призвело до різкого зниження загального числа бактерій до $2,56 \pm 0,088 \times 10^2$.

Кінетика відмирання бактерій групи кишкової палички БГКП збільшувалася зі збільшенням тривалості бродіння в мезофільному температурному режимі бродіння. Різде підвищення температурного режиму до 65°C виявилось згубним для бактерій. При цьому кількість бактерій групи кишкової палички знизилась із $6,23 \pm 0,066 \times 10^2$ до кількох – $3,4 \pm 0,057$ (ГДК= $1,0 \times 10^2$).

З наших дослідів випливає, що різке підвищення температури бродіння не нижче 10°C, при переході з мезофільного режиму на термофільний і в термофільному режимі бродіння є згубним для мікроорганізмів, що попереджає адаптацію мікрофлори до поступово змінюваних температур і сприяє загибелі основної маси мікроорганізмів.

Отримані результати досліджень впливу метанового бродіння на агрохімічну цінність зброджуваного свинячого гною та курячого посліду, їхній санітарно-гігієнічний стан і патогенне забруднення стали доповненням до існуючих закономірностей біоенергетичної утилізації цих відходів.

Враховуючи вагомий вплив температурного фактору на якість добрива та його екологічну безпеку для середовища метанове бродіння проводилось в умовах зміненого температурного режиму (мезофільно-термофільного). Це одна із важливих умов отримання якісного ферментованого добрива і забезпечення дегельмінтації та патогенної чистоти. На важливість таких досліджень та їх технологію наголошується іншими дослідниками (Семененко І.В., Зінченко М.Г., 2012; Семененко І. В., Кравец В. А., 2002; Гелетуха Г. Г., 2011 та іншими) [50, 189, 192].

Зокрема нами наголошується на переваги мезофільного режиму бродіння для отримання якісного ферментованого добрива та необхідність термофільних температур для повного знезараження його від патогенної бактеріальної флори. А також, відмічається, що при температурі 50–55°C бактерії групи кишкової палички відмирають протягом 3 – діб, а при 40–

42°C – 7–9 діб, що узгоджується з нашими даними. Важливим є врахування і активності бродіння.

Висновки до розділу 3

Експерименти й дослідження впливу температурного режиму на вихід біогазу із свинячого гною і курячого посліду показали, що об'ємний вихід біогазу із бродильного субстрату залежить від енергоресурсної якості субстрату й температурного режиму бродіння, його активності. З курячого гною вихід біогазу був в 1,3 рази більшим, порівняно зі свинячим. Максимум виходу біогазу зафіксований в діапазоні температури 36–40°C. Це підтвердила кінетика подобового виходу біогазу відповідно з курячого посліду і свинячого гною, протягом десятидобового циклу бродіння при зміні температурного режиму (від 34°C до 65°C).

Пристрій для водної очистки отриманого біогазу під час його виходу з бродильної камери забезпечує лише часткову утилізацію його газових домішок (H_2S , NH_3 , CO_2), а у водному пристрої, під час проходження біогазу, розвивається занесена з бродильної камери мікрофлора, представлена групами аеробних метанотрофних і анаеробних метаногенних бактерій.

Вода очисного пристрою, збагачена мінеральними сполуками та мікроорганізмами, може бути використана для удобрення рослин.

Видалення повітря з резервуар-генератора, за допомогою вмонтованого в біогазову установку спеціального пристрою, покращує умови для діяльності анаеробних метаногенних бактерій.

Запропонований спосіб поєднання пристрою водної очистки біогазу з хемосорбційним за умови використання в якості хемосорбентів концентрованої H_2SO_4 та 10%-го розчину NaOH забезпечує отримання очищеного від сірководню, аміаку, вуглекислоти біогазу (із 95% метану) та

додаткових корисних продуктів – мінеральних рідких добрив (NH_4OH і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Встановлено, що після зброджування свинячого гною і курячого посліду його агрохімічний склад покращується за рахунок вивільнення основних біогенних елементів мінерального живлення (N, P, K) у доступних для засвоювання формах.

Мезофільний режим бродіння не забезпечує повного знезараження гнойових відходів від патогенних мікроорганізмів. Дегельмінтизація і відмирання патогенної мікрофлори (клітин *E. coli*) відбувається за умов термофільного режиму бродіння (48–65°C). Температурний фактор, з яким пов'язана термостійкість різних груп патогенних мікроорганізмів, активність бродіння є головним для отримання екобезпечного добрива.

РОЗДІЛ 4

АГРОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЙОВИХ ВІДХОДІВ ЗА ВНЕСЕННЯ ЇХ ЯК ДОБРИВА ТА ЕКОБЕЗПЕКА РОСЛИННИЦЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

4.1. Дослідження впливу добрива, отриманого в результаті бродиння в біогазовій установці на ростові процеси рослин

4.1.1. Вплив норм внесення ферментованого свинячого гною на ріст і врожай зеленої маси кукурудзи

Львівська область має досить неоднорідний рельєф. Ця особливість має вирішальне значення на формування ґрунтів, їх структуру, хімічний склад і врожайність.

Наш регіон має умови для вирощування такої культури як кукурудза. Кукурудза потребує значно більше поживних речовин, ніж інші зернові культури. З урожаєм зерна 60-65 ц/га з ґрунту виноситься близько 190 кг азоту, 160 – калію, 50-60 кг фосфору.

Високі врожаї кукурудзи вирощують при поєднанні органічних і мінеральних добрив. Під кукурудзу можна вносити різні органічні (гній, компости, торфогній, пташиний послід, гноївку та ін.) і мінеральні добрива. Органічні добрива не тільки збільшують вміст у ґрунті потрібних рослинам елементів живлення, а й покращують його фізико-хімічні властивості. Найбільше значення органічні добрива мають для підвищення родючості підзолистих ґрунтів. Під кукурудзу залежно від родючості ґрунту вносять 20-40 т/га гною (на опідзолених – 20-25, у центральному та північному Степу – 15-20 т/га). Гній доцільно вносити під попередню культуру. Якщо кукурудзу висівають після просапних культур, під які вносили органічні добрива, безпосередньо під кукурудзу норму їх можна зменшити на 50%. Залежно від

стану посівів і удобрення ґрунту проводять дворазове підживлення кукурудзи: перше – після проривання або боронування сходів, друге – під час міжрядного обробітку ґрунту перед викиданням волотей.

Для першого підживлення використовують гноївку (4-5 т/га) з додаванням суперфосфату. Замість гноївки можна вносити аміачну воду з розрахунку 1,5-2 ц/га. Для підживлення мінеральними добривами вносять 1 ц/га суперфосфату, 0,5 калійної солі і 0,5 ц/га селітри. Сухі й рідкі добрива вносять на глибину 8-12 см на відстані 15-20 см від рядка. Остаточний висновок по нормах внесення певних органічних і мінеральних добрив можна зробити тільки після проведення хімічного аналізу ґрунту.

Урожайність зеленої маси становить 300-400, а на зрошуваних землях – 600-700 ц/га. У Лісостепу середня врожайність силосної маси кукурудзи становить 400-500 ц/га, в Степу без зрошення – 200-300, на зрошуваних землях – 600-700, на Поліссі – 350-400 ц/га.

Дослідження виконували з метою апробації впливу ферментованого екобезпечного свинячого гною на ріст і врожай зеленої маси кукурудзи. При плануванні досліду було враховано, що кукурудза – однорічна, тепло- і вологолюбна рослина, що розвиває потужну листостеблову зелену масу. Тому вона вже на перших етапах росту і розвитку вимагає достатнього забезпечення легкодоступними формами Нітрогену.

Ферментований гній містить в своєму складі досить велику кількість амонійної форми Нітрогену, який може бути повністю засвоєний рослиною вже в рік внесення.

Результати обліку врожаю, отримані на дослідних ділянках, були перераховані у т/га. Отримані усередненні дані подані у таблиці 4.1. На світлинах (дод., рис. А.3.1–3.3) зафіксовано загальний вигляд різноваріантних рослин кукурудзи на відповідних етапах досліду. Зібраний у свіжому вигляді врожай та результати морфологічних спостережень відповідно аналізували, як підстава для попередніх висновків.

Таблиця 4.1

**Вплив норм внесення ферментованого свинячого гною
на ріст і врожай зеленої маси кукурудзи**

Показники	Варіанти				
	Контроль (без добрив)	Гній 3 т/га (3 кг/ 10 м ²)	Гній 9 т/га (9 кг/ 10м ²)	Гній 6 т/га + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀
Висота рослин у період активної вегетації, см	86±2,17	117±3,14	167±1,6	240±2,14	206±2,1
Кількість листків на рослині, од.	8±0,4	11±0,25	14±0,7	22±0,47	20±0,64
Висота рослин при зборі врожаю, см	108±1,29	149±2,69	240±2,1	283±2,63	261±1,75
Кількість листків на рослині, од.	10±0,25	15±0,29	19±0,48	26±0,4	21±0,75
Урожай зеленої маси з ділянок, т/га	34±1,73	37,2±0,75	48±0,4	59,8±0,62	56,6±0,55
Приріст урожаю, т/га	К	3,2	14,0	25,8	22,6
Приріст урожаю, %	К	9,4	41,2	75,9	66,5

Дані проведених досліджень свідчать про те, що мінеральні доступні форми азоту ферментованого свинячого гною, внесеного на перших етапах вегетації, позитивно вплинули на ріст вегетативних органів кукурудзи. Це підтверджується перевагами щодо росту стебла і відповідно збільшенням кількості та розмірів листків різноваріантних особин кукурудзи. Воно зумовило і досить вагомий приріст урожаю зеленої свіжозібраної маси.

Особливо активний ріст вегетативних надземних органів кукурудзи спостерігався після внесення повторної норми добрива в фазі 7–9 листків, що активізувало ростові процеси.

Підсумовуючи дані досліджень, можна стверджувати, що найкращий ефект забезпечило внесення добрива безпосередньо в прикореневу частину рослин з розрахунку 9 т/га, що рівноцінне внесенню 30–40 т/га гною великої рогатої худоби. А також, сумісне внесення даного органічного добрива у дозі 6 т/га та мінеральних добрив $N_{120}P_{90}K_{90}$. В свою чергу перероблені органічні добрива на відміну мінеральним відповідають вимогам органічного землеробства і дають можливість отримати екологічно безпечні продукти харчування, покращують структуру ґрунту, збільшують вміст гумусу в ньому. А також, на фоні органічних добрив можна зменшувати дозу внесення мінеральних добрив. Мінеральні добрива є легкозасвоюваними і дають швидкий результат у зростанні врожайності рослин.

Водночас дослідження щодо впливу норм і способів аналогічного добрива під різні культури, проведеними групою спеціалістів під керівництвом Макаренко (2014) [129], встановлено, що норма добрива вище 10 т/га за прикореневого внесення супроводилась деяким зниженням врожайності окремих сільськогосподарських культур, в тому числі й кукурудзи (при 20 і 30 т/га).

Звичайно, що на врожайність рослин крім норм і способів внесення добрива впливають і багато інших факторів. Згідно наявних в літературі даних, необхідні глибші дослідження з врахуванням комплексу взаємодіючих факторів [18, 28, 40, 93, 94]. Мова йде про те, що значний вплив на ріст надземних органів рослин мають також спосіб сівби, густина рослин на 1 га, наявність тепла і вологи, спосіб і час внесення добрива, забезпеченість ґрунту поживними речовинами. Вони впливають на облиственість стебла та кормову якість кукурудзи.

4.1.2. Дослідження впливу ферментованого свинячого гною на ріст коренеплодів і врожайність редиски

В останні роки визначилася чітка тенденція до збільшення виробництва рослинницької продукції (особливо овочевої) з вмістом нітратів, що перевищує можливо допустиму норму. В цілому в Україні понад 30% сільськогосподарської продукції мають вміст нітратів, що перевищує допустимий рівень.

Ця проблема для людства нова і дуже актуальна, а в перспективі гострота її буде зростати, особливо в країнах і окремих хліборобських регіонах з інтенсивним концентрованим застосуванням мінеральних (азотних) добрив.

Складність проблеми нітратів у тому, що нітрати — основне джерело азотного живлення, а надлишок цих сполук призводить до важких екологічних наслідків, що впливають на стан здоров'я людини і тварин.

Основна небезпека надходження нітратів в організм людини пов'язується з виникненням метагемоглобінемії, канцерогенних новоутворень, імунодепресивної дії, а також зниженням резистентності організму до впливу канцерогенних і мутагенних агентів.

Для запобігання надлишковому нагромадженню нітратів у рослинах, необхідно, з одного боку, регулювати кількість мінерального азоту в ґрунті, з другого — створювати умови найбільш продуктивного використання азоту, що використовується для формування органічної речовини, тобто врожаю.

Редиска любить зв'язкові ґрунти з великою кількістю перегною, які не виявляють тенденції до утворення кірок. З осені під перекопування слід внести 400-450 кг / сотку перегною і фосфорно-калійні добрива по 0,5-0,9 кг діючої речовини на 1 сотку (3-4,5 кг суперфосфату і 2,4-3,6 кг калімагnezії або 1,2-1,7 до сульфату калію). Не переносить свіжих органічних добрив; вони погано позначаються на її зовнішньому вигляді і провокують появу шкідників.

Вважається, що мінімальні дози гною під просапні складають на всіх типах ґрунтів 5-6 т на га (0,5 кг на м²), а під овочеві -10 т / га. На важких ґрунтах під просапні слід вносити не більше 40-50 т / га, або 4-5 кг на м². 1 - 2 тонни перегною можна замінити 5-10 кг нітроамофоски. Норма внесення аміачної селітри на 1 га редиски, залежно від родючості ґрунту, становить в середньому 150 кг/г, на 1 га кукурудзи – 50–100 кг.

В групі ранньостиглих сортів врожайність коренеплодів коливається в межах 93 – 400 ц/га. Найбільш врожайним виявився сорт Дабел F1 – 400 ц/га, а найменш врожайним – 93 ц/га. Група сортів (Сора, Снежка, Крिमсон, Селеста) мають врожайність в межах 200–270 ц/га.

Досліджували вплив різних доз зброджуваного органічного добрива на врожай редиски сорту Масляний гігант, вміст нітратів у ній і нітратне забруднення ґрунту з удобренням в таких наступних варіантах: контроль (без добрив), 6т/га, 10 т/га, 17 т/га, 20 т/га, 23 т/га. Дослід проводили на темно-сірих лісових ґрунтах. Висівали насіння редиски в нормі 204 насінин на м². І в кожен ряд вносили по 68 насінин в попередньо удобрений ґрунт (табл. 4.2). З таблиці бачимо, що в перших 4-х варіантах поява сходів культури є найкращою (зійшли майже всі насінини). В варіанті 5 і 6 зійшла лише 1/4 частина рослин. Проте найкращий врожай отримано з дослідних ділянок 5 і 6 за дози внесення зброджуваного добрива 20 т/га (180 ц/га) і 23 т/га (239,2 ц/га), що відповідає урожайності даного сорту при дотриманні агротехніки вирощування. Коренеплоди цих дослідних варіантів в порівнянні з контролем і початковими варіантами переважають і у вазі.

Схожість насіння і густоту посіву редиски бачимо на рисунках (дод., рис. А 3.4–3.10).

З таблиці 4.3 бачимо, що вміст нітратів у контролі (без добрив) – був найбільшим. Тоді як у дослідних варіантах: № 1 (редиска з дозою удобрення 6 т/га) нітратне забруднення було на 33% меншим ніж у контролі.

Таблиця 4.2

**Вплив удобрення ґрунту ферментованим свинячим гноєм
на врожайність редиски**

Норма органічного шламу, т/га (г/м ²)	Кількість рослин, що зійшли, шт	Середня вага коренеплода, г	Діаметр корене- плода, г	Урожайність коренеплодів/га (г/м ²)
Контроль	60	10	1,0	60,0 (600)
6 (600)	66	15	2,5	99,0 (990)
10 (1000)	64	18	2,5–3,5	115,2 (1152)
17 (1700)	63	25	3,0–3,5	157,5 (1575)
20 (2000)	45	40	4,3–5,0	180,0 (1800)
23 (2300)	52	46	5,0–5,5	239,2 (2392)

Таблиця 4.3

**Вплив удобрення ґрунту ферментованим свинячим гноєм
на нітратне забруднення коренеплодів**

Показник	Номер зразка			
	К	№ 1	№5	№6
Вміст нітратів, мг/кг	2653±0,85	1775±1,47	833±1,29	1057±1,08

У дослідному варіанті № 5 (редиска з дозою удобрення 20 т/га) нітратне забруднення редиски на 69% менше, а у варіанті № 6 (редиска з дозою удобрення 23 т/га) на 60% менше ніж у контролі.

Вплив ферментованого добрива на зменшення нітратного забруднення можна пояснити тим, що при більших дозах органічного удобрення коренеплоди краще ростуть і краще набирають масу, і відповідно краще використовують азот. Також встановлено, що коренеплоди червоної редиски сорту масляний гігант містили нітратів в середньому в кількості 2653 мг/кг, у

той час як коренеплоди білої редиски сорту Льодяна бурулька містила нітратів у кількості – 1906 мг/кг, що на 747 мг/кг більше.

В таблиці 4.4 наведено ефективність засвоєння рослинами з ґрунту азоту, в тому числі нітратного. Бачимо, що збільшення дози удобрення збродженим гноєм призводить до зменшення азоту нітратного у ґрунті у дослідному варіанті № 2 на 65,21%, у варіанті №3 на 44,9%, у варіанті №4 на 39,85%, у варіанті №5 на 55%, у варіанті № 6 на 56,5% порівняно з контролем.

Таблиця 4.4

**Вплив удобрення ферментованим свинячим гноєм
на агрохімічні властивості та вміст нітратів у ґрунті**

№ з/п	Гумус, %	pH сольове	Азот загальний, мг/кг	Азот лужногідро- лізований, мг/кг	Азот нітратний, мг/кг
1	3,9±0,07	6,8±0,04	1,96±0,12	126±0,41	13,8±0,06
2	4,1±0,054	6,8±0,02	1,71±0,1	126±0,54	9,0±0,12
3	4,0±0,085	6,9±0,023	1,67±0,11	109,2±1,067	6,2±0,14
4	4,0±0,063	6,9±0,02	1,44±0,09	103,6±0,24	5,5±0,09
5	4,0±0,12	6,9±0,032	1,54±0,11	114,8±0,91	7,6±0,06
6	4,0±0,047	6,8±0,042	1,61±0,13	116,0±0,68	7,8±0,09

Азот загальний порівняно з контролем зменшується на: у варіанті № 2 приблизно на 13%, у варіанті № 3 приблизно на 15%, у варіанті № 4 на 27 %, у варіанті № 5 приблизно на 22%, у варіанті № 6 приблизно на 18%.

Лужногідролізований азот зменшився у варіанті № 3 на 13,3%, у варіанті № 4 17,8%, у варіанті № 5 на 8,9%, у варіанті № 6 на 7,9%.

Гумус у варіанті № 2 збільшився на 5,12% порівняно з контролем, у варіантах № 3, 4, 5, 6 збільшився на 2,56%.

Отже, у випадку рослин з коротким вегетаційним періодом, зокрема редиски, збільшення застосування удобрення ферментованим органічним шламом від 6 до 23 т/га до посіву рослин дало позитивні результати, що проявляються у збільшенні врожайності, зі сторони зниження нітратного забруднення ґрунту і коренеплодів редиски, збільшенням вмісту гумусу, які використовуються рослинами.

На сьогоднішній день світові тенденції популярності здорового, екологічно чистого та безпечного харчування все повніше «завойовують» і нашу державу. Органічна і екологічно чиста продукція стає для багатьох світовим вибором.

Висновки до розділу 4

Отримані внаслідок удосконалення технології знешкодження свинячого гною та курячого посліду компоненти є збагачені доступними формами елементів мінерального живлення, що легко засвоюються рослинами. У зв'язку з цим їх можна вносити в ґрунт для отримання високих урожаїв продукції при значно менших витратах.

Отримана рослинницька продукція є екологічно безпечною, а дешевий енергоносіє – біогаз і біометан є продуктами біодинамічного безвідходного господарювання із мінімумом негативного впливу на навколишнє середовище.

В останні роки є тенденція до збільшення виробництва рослинницької продукції (особливо овочевої) з підвищеним вмістом нітратів, що перевищує допустиму норму. Причиною цього в основному є використання в господарствах не цілком екологічно безпечних технологій вирощування культур із застосуванням мінеральних добрив.

Тому актуальною є проблема попередження надлишкового нагромадження нітратів у рослинах за надання переваги органічним добривам.

З наших дослідів з культурою короткого вегетаційного періоду – редискою, збільшення норми удобрення ферментованим органічним шламом від 6 до 23 т/га під основний обробіток дало позитивні результати. За збільшення врожаю редиски спостерігаємо зниження вмісту нітратного азоту в ґрунті і в коренеплодах.

Водночас, виявлена тенденція до збільшення вмісту гумусу. Основна кількість азоту, в тому числі і нітратного, витрачалася на приріст органічної речовини коренеплодів, і це сприяло отриманню екологічно безпечної здорової для людини продукції.

Найвищий урожай коренеплодів редиски – 180–239,2 ц/га, отримали за норми внесення ферментованого органічного добрива 20–23 т/га.

Навіть за мінімальної норми удобрення – 6 т/га шламу, нітратне забруднення було на 33% меншим, порівняно з контролем (без внесення ферментованого добрива). У варіанті з дозою удобрення 20 т/га нітратне забруднення редиски було на 69% меншим, а у варіанті з дозою удобрення 23 т/га – на 60%.

За результатами вивчення впливу отриманого ферментованого добрива на врожай зеленої маси кукурудзи нами доведено, що позитивний ефект в збільшенні врожаю забезпечило внесення самого лише ферментованого добрива з розрахунку 3-9 т/га та.

Комплексне внесення органічного добрива у дозі 6 т/га з мінеральним $N_{120}P_{90}K_{90}$ забезпечило найбільше підвищення врожаю: на 41,2% та 75,9%. Це на 34,7% більше, ніж від застосування виключно ферментованого добрива у дозі 9 т/га.

Для досягнення кращого врожаю зеленої маси кукурудзи з одночасним відновленням родючості ґрунтів потрібно застосовувати варіант з сумісним внесенням ферментованого органічного добрива у дозі 6 т/га та мінеральних добрив $N_{120}P_{90}K_{90}$.

РОЗДІЛ 5

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОБЕЗПЕКИ БЕЗВІДХОДНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЙОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В основу еколого-економічної оцінки запропонованої автором біотехноенергетичної утилізації гною покладено раціональне використання його як енергетичного джерела і органічного добрива. Увага була зосереджена на виявленні переваг комплексної утилізації гнойових відходів та використання збродженого в біогазовій установці гною над традиційним його використанням. Розраховано економічний ефект і екологічність отриманих в процесі виробництва і очистки біогазу рідких азотних мінеральних добрив (NH_4OH і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

5.1. Агроекологічна й енергетична оцінка удосконалення технології утилізації свинячого гною і курячого посліду

В основу оцінки було покладено порівняльний метод характеристики свинячого гною як традиційного органічного добрива та отриманого після метанового зброджування ферментованого гною – елюенту (табл. 5.1). Для цього були використані дані власних досліджень та запозичені з літературних джерел (Городній Н.М. та ін., 1990; Семененко І. та ін., 2004; Кернасюк Ю.В., 2010; Курочкін В., 2011; Шевченко І.А. та ін., 2012) [60, 89, 116, 192, 219].

В них показано, що екологічний і економічний ефекти доцільно оцінювати за вмістом поживних речовин, їхньою біодоступністю та екологічним впливом на навколишнє середовище. На основі цього, виконано порівняльний аналіз свинячого гною за умов традиційного використання та елюента отриманого в результаті зброджування в біореакторі.

Порівняльна характеристика свинячого гною як традиційного добрива і ферментованого добрива в процесі метанового бродіння

(за Н. М. Городнім, 1993 [60])

Показник	Свинячий гній (твердий)	
	Традиційне використання	Ефлюент
$N_{\text{заг}}$, %	0,52	5,9 – 6,5
$N - NH_4$, %	0,05	1,4 – 2,0
P_2O_5 , %	0,20	5,3 – 5,8
K_2O , %	0,52	6,1 – 6,3
Запас поживних речовин	Зменшується при тривалому зберіганні за рахунок аеробних процесів до 25–50%	Зменшується на 40% вміст сухої органічної речовини за рахунок мінералізації і утворення біогазу
Втрати N	До 40% при тривалому зберіганні	До 1–3% значна частка його переходить у доступні форми
Коефіцієнт використання з ґрунту, % азоту, що легко гідролізується в перший рік	Лише 20–30% азоту переходить у доступну для засвоювання рослинами форму	За рахунок мікробіологічних процесів мінералізації у ферментованому шламі в доступну форму для рослин переходить 60% азоту
Норми внесення	20–40 т/га	9–20 т/га
Додаткові показники і витрати	Потребує спорудження гноєсховищ (з розрахунку 0,5 м ² на одну свиню його площі). Є джерелом токсичного і патогенного забруднення	Можна використовувати безпосередньо після завершення бродіння чи зберігати в гноєсховищі
Інвазованість	Потребує знезараження	Екологічно безпечне, знезаражене

Звичайно, врахування перерахованих переваг перебродженого гною не відбивають грошових витрат на різні процеси щодо традиційного використання гною та на біоенергетичну утилізацію його. Останнє дає дохід від додаткової продукції (біогазу та рідких мінеральних добрив).

Оцінюючи екологічну перевагу отриманих ферментованих добрив необхідно наголосити на їхню екологічну безпеку для навколишнього середовища, ефективний вплив на родючість ґрунту, врожайність та можливість отримати конкурентоздатну екологічно чисту продукцію. На даний час це є необхідною умовою для розвитку біологічного землеробства [55, 98, 204]. Безперечно, це дасть відповідний економічний ефект діяльності фермерських господарств. Отримані добрива є екологічною альтернативою використанню мінеральних добрив. Та, як наголошує Ю.В. Керсанюк [89], найбільший ефект можна отримати, якщо використовувати гній як сировину для комплексного виробництва органічного шламу і біогазу, з подальшим перетворенням останнього в електроенергію. Щодо економічної оцінки отриманого добрива, то потрібні додаткові дослідження їх впливу на врожайність головних сільськогосподарських культур і розробка рекомендацій для їхнього практичного використання.

Як вже зазначали, основним продуктом біоенергетичної утилізації гною є біогаз. Вартість біогазу, отриманого за допомогою біогазової установки, значно нижча від вартості природного газу, ціна якого на сьогоднішній день становить до 400\$. Енергетична ціна 1 м³ біогазу, спаленого в біогенераторі, приблизно становить 2 кВт/год електроенергії. Застосування очисних фільтрів у біогазовій установці сприяє очищенню біогазу до вмісту в ньому 97% метану, що за цим показником наближує його до природного газу. Запропонований нами хемосорбційний спосіб очистки біогазу передбачає пропускання його через воду, 10% водний розчин їдкого натрію і концентровану сульфатну кислоту, що забезпечує високий рівень його очистки і утилізацію газових домішок як парникових газів.

Кількаразове пропускання біогазу через воду насичує її амоніаком, в результаті чого отримується рідке мінеральне добриво – аміачну селітру. Пропускання біогазу через воду триває до насичення води амоніаком необхідної концентрації, а пропускання через сульфатну кислоту – до утворення сульфату амонію, а через луг – до утворення карбонату натрію (соди).

Екологічно чистий біогаз (біометан) є важливим фактором підвищення доходів і рентабельності господарства.

5.2. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування озимих зернових культур аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу

Діюча речовина в аміачній селітрі, аміачній воді – Нітроген. Отже, розрахунок ефективності заміни аміачної селітри аміачною водою буде вестись на основі концентрації Нітрогену (N).

Концентрація N в аміачній селітрі становить – 34-34,65 %, тобто в одній тонні аміачної селітри є 340–346,5 кг N.

Норма внесення аміачної селітри на 1 га озимих, залежно від складу ґрунту, становить 300–400 кг. Для розрахунку беремо середнє значення – 350 кг

Визначаємо вартість 350 кг аміачної селітри:

$$B_{ac} = C \times H, \quad (5.1)$$

де:

B_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га, грн;

C – ціна 1 кг аміачної селітри, грн;

H – норма внесення аміачної селітри на 1 га, кг.

$$3,5 \times 350 = 1225 \text{ грн.}$$

Визначаємо масу аміачної води, необхідної для заміщення однієї тонни аміачної селітри, виходячи з концентрації N в аміачній воді:

$$M_{a.} = \frac{1000 \times K_c}{K_a}, \quad (5.2)$$

де:

$M_{a.}$ – маса аміачної води, необхідна для заміщення однієї тонни аміачної селітри, кг ;

1000 – кількість кг в 1 тонні;

K_c – кількість N в 1 тонні аміачної селітри, кг ;

K_a – кількість N в 1 тонні аміачної води, кг .

$$M_{a.} = \frac{1000 \times 340}{205} = 1658,54 \text{ кг},$$

Визначаємо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри:

1000 – 1660

1658,54 – x

$$x = \frac{1658,54 \times 1660}{1000} = 2753,18 \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де:

1660 – вартість 1 тонни аміачної води, грн. ,

1658,54 – маса аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри, кг ;

1000 – кількість кг в тонні.

Визначаємо економію грошей при заміні 1 тонни аміачної селітри аміачною водою:

$$3500 - 2753 = 747 \text{ грн.}; \quad (5.4)$$

де:

3500 – вартість 1 тонни аміачної селітри, *грн*;

2753 – вартість 1 тонни аміачної води для заміщення 1 тонни аміачної селітри, *грн*.

Визначаємо економію грошей при заміні 350 *кГ* аміачної селітри аміачною водою для внесення на 1 га ґрунту при вирощуванні озимини:

$$x = \frac{350 \times 747}{1000} = 261,45 \text{ грн}; \quad (5.5)$$

де:

350 – норма внесення аміачної селітри на 1 га озимини, *кГ*;

747 – економія при заміщенні 1 тонни аміачної селітри аміачною водою, *грн*;

1000 – кількість кілограм в тонні.

Враховуючи, що норма внесення аміачної селітри під озимину становить 350 *кГ*, розраховуємо кількість аміачної води для заміщення 350 *кГ* аміачної селітри:

з співвідношення:

$$\frac{350}{1000} = \frac{x}{1658,54}; \quad (5.6)$$

де:

350 – норма внесення аміачної селітри на 1 га озимини, *кГ*;

1000 – кількість кілограм в 1 тонні;

1658,54 – об'єм аміачної води, по концентрації N еквівалентний 1 тонні аміачної селітри, *кГ*;

x – об'єм аміачної води, який по концентрації N еквівалентний 350 *кГ* аміачної селітри.

$$x = \frac{350 \times 1658,54}{1000} = 580,3 \text{ кГ}$$

Отже, для заміщення 350 *кГ* аміачної селітри потрібно взяти 580 *кГ* аміачної води.

Визначаємо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 350 кг аміачної селітри:

$$\begin{aligned}
 &1000 - 1660 \\
 &580,3 - x \\
 &x = \frac{580,3 \times 1660}{1000} = 963,3 \text{ грн}; \quad (5.7)
 \end{aligned}$$

де:

1660 – вартість 1 тонни (1000 кг) аміачної води, грн.;

580,3 – об'єм аміачної води необхідної для заміщення 350 кг аміачної селітри, кг ;

1000 – кількість кг в тонні.

Визначаємо економію грошей на 1 га озимини при заміщенні аміачної селітри аміачною водою:

$$1225 - 963,3 = 261,7 \text{ грн}; \quad (5.8)$$

де:

1225 – вартість 350 кг аміачної селітри, грн

963,3 – вартість аміачної води, необхідної для заміщення 350 кг, аміачної селітри, грн.

Отже, економічний ефект від заміщення аміачної селітри аміачною водою для внесення на 1 га ріллі, при вирощуванні озимини, становить 261,7 грн.

В нашому випадку аміачну селітру ми отримуємо як побічний продукт очистки біогазу (ми її не купуємо), тому економічний ефект при використанні такого добрива для вирощування озимини буде дорівнювати вартості аміачної селітри, яку ми замінили аміачною водою і становитиме 1225 грн.

Для виробництва аміачної води пропонується застосовувати дощову або криничну воду. Дощова вода має нейтральну кислотну реакцію, багата киснем і азотом, на відміну від водопровідної води, в якій підвищена концентрація хлору, шкідливого для рослин. В умовах забрудненої атмосфери відбирається дощова вода після випадіння дощу.

5.3. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для вирощування озимих зернових культур водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу

Розрахунок ведеться у порівнянні до аміачної селітри, яка теж є азотним добривом. В запропонованій нами біогазовій установці сульфат амонію є побічним продуктом очищення біогазу, шляхом пропускання його через концентровану сульфатну кислоту. Вартість такого добрива, без його зневоднення і перетворення в порошкоподібний стан, визначається вартістю сульфатної кислоти. Тому водний розчин сульфату амонію, отриманий в процесі очищення біогазу, можна вносити у ґрунт по методиці застосування аміачної води. Норма внесення водного розчину сульфату амонію визначається концентрацією N.

Діючою речовиною в водному розчині сульфату амонію є N, його масова частка становить 20,8-21,0 %. Тобто, в 1 тонні сульфату амонію є 208-210 кг N. Норма внесення аміачної селітри на 1 га, в залежності від типу ґрунту і його хімічного складу, становить 300-400 кг. Для розрахунків беремо середнє значення – 350 кг. Враховуючи, що процентний вміст N в аміачній селітрі становить 34% (340 кг N в 1 тонні селітри), знаходимо кількість N, необхідного для внесення на 1 га у складі аміачної селітри:

$$K_e = \frac{H_c \times C}{1000} \quad (5.9)$$

де:

K_e – кількість N у складі аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га, $\kappa\Gamma$;

C – вміст азоту в 1 тонні аміачній селітрі, $\kappa\Gamma$

H_c – норма внесення аміачної селітри на 1 га, $\kappa\Gamma$;

1000 – кілограм в тонні.

$$K_e = \frac{350 \times 340}{1000} = 119 \kappa\Gamma / \text{га}$$

Визначаємо масу водного розчину сульфату амонію, який містить 119 $\kappa\Gamma$ N:

$$M_c = \frac{1000 \times K_e}{K_p}, \quad (5.10)$$

де:

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 119 $\kappa\Gamma$ N;

1000 – кількість $\kappa\Gamma$ в тонні;

K_e – кількість N у складі аміачної селітри, необхідної для внесення 1 га, $\kappa\Gamma$;

K_p – кількість N в 1 тонні сульфату амонію, $\kappa\Gamma$.

$$M_c = \frac{1000 \times 119}{210} = 567 \kappa\Gamma$$

Отже, для утворення 567 $\kappa\Gamma$ сульфату амонію необхідно взяти такий же об'єм сірчаної кислоти, пропускаючи через неї біогаз. Ціна маси водного розчину сульфату амонію, який містить 119 $\kappa\Gamma$ N фактично буде ціною аналогічного об'єму сульфатної кислоти і становитиме:

$$C_m = \frac{M_c \times C_{cy}}{K_p}, \quad (5.11)$$

де:

C_m – вартість 567 кг отриманого водного розчину сульфату амонію, грн;

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 119 кг азоту;

C_{cy} – вартість 1 тонни сульфатної кислоти, грн.;

K_p – кількість кг в 1 тонні.

$$C_m = \frac{567 \times 850}{1000} = 482 \text{ грн.}$$

Норма внесення аміачної селітри на 1 га, залежно від типу ґрунту і родючості, в середньому становить 350 кг. А згідно з нашими розрахунками, сульфату амонію на 1 га потрібно внести 567 кг, щоб замінити амонійну селітру. Вартість аміачної селітри – 1225 грн/т, необхідної для внесення на 1 га, а вартість сульфату амонію, при дозі внесення 567 кг/га становить – 482 грн.

Тоді економія грошей при заміні аміачної селітри на 1 га озимини сульфатом амонію становитиме:

$$E_{\phi} = B_{ac} - C_m, \quad (5.12)$$

де:

E_{ϕ} – економія грошей при заміні аміачної селітри сульфатом амонію при внесенні на 1 га озимини, грн.;

B_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га;

C_m – вартість 567 кг отриманого водного розчину сульфату амонію, який є побічним продуктом очистки біогазу.

$$E_{\phi} = 1225 - 482 = 743 \text{ грн.}$$

5.4. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування кукурудзи аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу

Діюча речовина в аміачній селітрі, аміачній воді – Нітроген. Отже, розрахунок ефективності заміни аміачної селітри аміачною водою буде вестись на основі концентрації Нітрогену (N).

1. Концентрація N в аміачній селітрі становить – 34-34,65 %, тобто в одній тонні аміачної селітри є 340–346,5 кг N.

Норма внесення аміачної селітри на 1 га кукурудзи, залежно від складу ґрунту, становить 50–100 кг. Для розрахунку беремо середнє значення – 80 кг.

Визначаємо вартість 80 кг аміачної селітри:

$$V_{ac} = C \times H, \quad (5.13)$$

де:

V_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га, грн;

C – ціна 1 кг аміачної селітри, грн;

H – норма внесення аміачної селітри на 1 га, кг.

$$3,5 \times 80 = 280 \text{ грн.}$$

Визначаємо масу аміачної води, необхідної для заміщення однієї тонни аміачної селітри, виходячи з концентрації N в аміачній воді:

$$M_a = \frac{1000 \times K_c}{K_a}, \quad (5.14)$$

де:

M_a – маса аміачної води, необхідна для заміщення однієї тонни аміачної селітри;

1000 – кількість $\kappa\Gamma$ в 1 тонні;

K_c – кількість N в 1 тонні аміачної селітри, $\kappa\Gamma$;

K_a – кількість N в 1 тонні аміачної води, $\kappa\Gamma$.

$$M_{a.} = \frac{1000 \times 340}{205} = 1658,54 \kappa\Gamma,$$

Визначаємо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри:

1000 – 1660

1658,54 – x

$$x = \frac{1658,54 \times 1660}{1000} = 2753,18 \text{ грн}, \quad (5.15)$$

де:

1660 – вартість 1 тонни аміачної води, грн ,

1658,54 – маса аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри, $\kappa\Gamma$;

1000 – кількість $\kappa\Gamma$ в тонні.

Визначаємо економію грошей при заміні 1 тонни аміачної селітри аміачною водою:

$$3500 - 2753 = 747 \text{ грн}; \quad (5.16)$$

де:

3500 – вартість 1 тонни аміачної селітри, грн ;

2753 – вартість 1 тонни аміачної води для заміщення 1 тонни аміачної селітри, грн

Враховуючи, що норма внесення аміачної селітри на 1 га під кукурудзу становить 80 $\kappa\Gamma$, розраховуємо кількість аміачної води для заміщення 80 $\kappa\Gamma$ аміачної селітри:

З співвідношення:

$$\frac{80}{1000} = \frac{x}{1658,54}; \quad (5.17)$$

де:

80 – норма внесення аміачної селітри на 1 га кукурудзи, *кГ*;

1000 – кількість кілограм в 1 тонні;

1658,54 – об'єм аміачної води, по концентрації N еквівалентний 1 тонні аміачної селітри, *кГ*;

x – об'єм аміачної води, який по концентрації N еквівалентний 80 *кГ* аміачної селітри.

$$x = \frac{80 \times 1658,54}{1000} = 132,7 \text{ кГ}$$

Отже, для заміщення 80 *кГ* аміачної селітри потрібно взяти 132,7 *кГ* аміачної води.

Визначаємо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 80 *кГ* аміачної селітри:

$$\begin{array}{l} 1000 - 1660 \\ 132,7 - x \\ x = \frac{132,7 \times 1660}{1000} = 220,3 \text{ грн;} \end{array} \quad (5.18)$$

де:

1660 – вартість 1 тонни (1000 *кГ*) аміачної води, грн.;

132,7 – об'єм аміачної води необхідної для заміщення 80 *кГ* аміачної селітри, *кГ*;

1000 – кількість *кГ* в тонні.

Визначаємо економію грошей на 1 га кукурудзи при заміщенні аміачної селітри аміачною водою:

$$280 - 220,3 = 60 \text{ грн;} \quad (5.19)$$

де:

280 – вартість 80 кг аміачної селітри, грн.

220,3 – вартість аміачної води, необхідної для заміщення 80 кг, аміачної селітри, грн.

Отже, економічний ефект від заміщення аміачної селітри аміачною водою для внесення на 1 га ріллі, при вирощуванні кукурудзи, становить 60 грн.

В нашому випадку аміачну селітру ми отримуємо як побічний продукт очистки біогазу (ми її не купуємо), тому економічний ефект при використанні такого добрива при вирощуванні кукурудзи буде дорівнювати вартості аміачної селітри, яку ми замінили аміачною водою і становитиме 280 грн.

Для виробництва аміачної води пропонується застосовувати дощову або криничну воду. Дощова вода має нейтральну кислотну реакцію, багата киснем і азотом, на відміну від водопровідної води, в якій підвищена концентрація хлору, шкідливого для рослин. В умовах забрудненої атмосфери відбирається дощова вода після випадіння дощу.

5.5. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для вирощування кукурудзи водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу

Розрахунок ведеться у порівнянні до аміачної селітри, яка теж є азотним добривом. В запропонованій нами біогазовій установці сульфат амонію є побічним продуктом очищення біогазу, шляхом пропускання його через концентровану сульфатну кислоту. Вартість такого добрива, без його зневоднення і перетворення в порошкоподібний стан, визначається вартістю сульфатної кислоти. Тому водний розчин сульфату амонію, отриманий в процесі очищення біогазу, можна вносити у ґрунт по методиці застосування

аміачної води. Норма внесення водного розчину сульфату амонію визначається концентрацією N, яка становить:

діючою речовиною в водному розчині сульфату амонію є N, його масова частка становить 20,8-21,0 %. Тобто, в 1 тонні сульфату амонію є 208-210 кг N. Норма внесення аміачної селітри на 1 га, в залежності від типу ґрунту і його хімічного складу, становить 100-120 кг.

Для розрахунків беремо середнє значення – 110 кг. Враховуючи, що процентний вміст N в аміачній селітрі становить 34%, знаходимо кількість N, необхідного для внесення на 1 га у складі аміачної селітри:

$$K_e = \frac{H_c \times C}{1000} \quad (5.20)$$

де:

K_e – кількість N у складі аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га, кг;

C – вміст азоту в 1 тонні аміачній селітрі, кг;

H_c – норма внесення аміачної селітри на 1 га, кг;

1000 – кілограм в тонні.

$$K_e = \frac{110 \times 340}{1000} = 37,4 \text{ кг/га}$$

Визначаємо масу водного розчину сульфату амонію, який містить 37,4 кг N:

$$M_c = \frac{1000 \times K_e}{K_p}, \quad (5.21)$$

де:

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 37,4 кг N;

1000 – кількість кг в тонні;

K_e – кількість N у складі аміачної селітри, необхідної для внесення 1 га, $кГ$;

K_p – кількість N в 1 тонні сульфату амонію, $кГ$.

$$M_c = \frac{1000 \times 37,4}{210} = 178 \text{ кГ}.$$

Отже, для утворення 178 $кГ$ сульфату амонію необхідно взяти такий же об'єм сірчаної кислоти, пропускаючи через неї біогаз. Ціна маси водного розчину сульфату амонію, який містить 37,4 $кГ$ N фактично буде ціною аналогічного об'єму сульфатної кислоти і становитиме:

$$C_m = \frac{M_c \times C_{cy}}{K_p}, \quad (5.22)$$

де:

C_m – вартість 178 $кГ$ отриманого водного розчину сульфату амонію, $грн$;

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 37,4 $кГ$ азоту, $кГ$;

C_{cy} – вартість 1 тонни сульфатної кислоти, $грн$;

K_p – кількість $кГ$ в 1 тонні.

$$C_m = \frac{178 \times 850}{1000} = 151 \text{ грн.}$$

Норма внесення аміачної селітри на 1 га, залежно від типу ґрунту і родючості, в середньому становить 110 $кГ$. А згідно з нашими розрахунками, сульфату амонію на 1 га потрібно внести 178 $кГ$, щоб замінити амонійну селітру. Вартість 110 $кГ$ аміачної селітри – 385 грн.

Тоді економія грошей при заміні аміачної селітри на 1 га кукурудзи сульфатом амонію становитиме:

$$E_{\phi} = B_{ac} - C_m, \quad (5.23)$$

де:

E_{ϕ} – економія грошей при заміні аміачної селітри сульфатом амонію при внесенні на 1 га кукурудзи, *грн*;

B_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га;

C_m – вартість 178 кг отриманого водного розчину сульфату амонію, який є побічним продуктом очистки біогазу.

$$E_{\phi} = 385 - 151 = 234 \text{ грн.}$$

5.6. Розрахунок економії коштів при заміні аміачної селітри для вирощування редиски аміачною водою, отриманою в процесі водної очистки біогазу

Діюча речовина в аміачній селітрі, аміачній воді і сульфаті амонію – Нітроген. Отже, розрахунок ефективності буде вестись на основі концентрації Нітрогену (N).

1. Концентрація N в аміачній селітрі становить – 34-34,65 %, тобто в одній тонні аміачної селітри є 340–346,5 кг N.

Норма внесення аміачної селітри на 1 га редиски, залежно від родючості ґрунту, становить 150 кг/га.

Визначаємо вартість 150 кг аміачної селітри:

$$B_{ac} = C \times H, \quad (5.24)$$

де:

B_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га;

C – ціна 1 кг аміачної селітри;

H – норма внесення аміачної селітри на 1 га.

$$3,5 \times 150 = 525 \text{ грн.}$$

Визначаємо масу аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри, виходячи з концентрації N в аміачній воді:

$$M_{a.} = \frac{1000 \times K_c}{K_a}, \quad (5.25)$$

де:

$M_{a.}$ – маса аміачної води, необхідна для заміщення однієї тонни аміачної селітри, кг ;

1000 – кількість кг в 1 тонні;

K_c – кількість N в 1 тонні аміачної селітри, кг ;

K_a – кількість N в 1 тонні аміачної води, кг .

$$M_{a.} = \frac{1000 \times 340}{205} = 1658,54 \text{ кг.}$$

Визначаємо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри:

1000 – 1660

1658,54 – x

$$x = \frac{1658,54 \times 1660}{1000} = 2753,18 \text{ грн.}, \quad (5.26)$$

де:

1660 – вартість 1 тонни аміачної води, грн. ,

1658,54 – маса аміачної води, необхідної для заміщення 1 тонни аміачної селітри, кг ;

1000 – кількість кг в тонні.

Визначаємо економію грошей при заміні 1 тонни аміачної селітри аміачною водою:

$$3500 - 2753 = 747 \text{ грн.}; \quad (5.27)$$

де:

3500 – вартість 1 тонни аміачної селітри, *грн*;

2753 – вартість 1 тонни аміачної води для заміщення 1 тонни аміачної селітри, *грн*.

Враховуючи, що норма внесення аміачної селітри на 1 га під редиску становить 150 *кг*, розраховуємо кількість аміачної води для заміщення 150 *кг* аміачної селітри:

З співвідношення:

$$\frac{150}{1000} = \frac{x}{1658,54}; \quad (5.28)$$

де:

150 – норма внесення аміачної селітри на 1 га редиски, *кг*;

1000 – кількість кілограм в 1 тонні;

1658,54 – об'єм аміачної води, по концентрації N еквівалентний 1 тонні аміачної селітри, *кг*;

x – об'єм аміачної води, який по концентрації N еквівалентний 150 *кг* аміачної селітри.

$$x = \frac{150 \times 1658,54}{1000} = 248,8 \text{ кг}$$

Отже, для заміщення 150 *кг* аміачної селітри потрібно взяти 248,8 *кг* аміачної води.

Визначасмо вартість аміачної води, необхідної для заміщення 248,8 *кг* аміачної селітри:

1000 – 1660

248,8 – *x*

$$x = \frac{248,8 \times 1660}{1000} = 413 \text{ грн}; \quad (5.29)$$

де:

248,8 – об'єм аміачної води, необхідної для заміщення 150 кг аміачної селітри, кг ;

1660 – вартість 1 тонни (1000 кг) аміачної води, грн ;

1000 – кількість кг в тонні.

Визначаємо економію грошей на 1 га редиски при заміщенні аміачної селітри аміачною водою:

$$E = B_c - B_a, \quad (5.30)$$

де:

E – економія грошей при заміщенні аміачної селітри аміачною водою на 1 га, грн ;

B_c – вартість 150 кг аміачної селітри, грн ;

B_a – вартість аміачної води, необхідна для заміщення 150 кг аміачної селітри, грн .

$$525 - 413 = 112 \text{ грн.}$$

В нашому випадку аміачну селітру ми отримуємо як побічний продукт очистки біогазу (ми її не купуємо), тому економічний ефект при використанні такого добрива для вирощування редиски буде дорівнювати вартості аміачної селітри, яку ми замінили аміачною водою і становитиме 525 грн.

5.7. Розрахунок економічної ефективності заміни аміачної селітри для вирощування редиски водним розчином сульфату амонію, отриманого в процесі очистки біогазу

Розрахунок ведеться у порівнянні до аміачної селітри, яка теж є азотним добривом. В запропонованій нами біогазовій установці сульфат амонію є побічним продуктом очищення біогазу, шляхом пропускання його через концентровану сульфатну кислоту. Вартість такого добрива, без його

зневоднення і перетворення в порошкоподібний стан, визначається вартістю сульфатної кислоти. Тому водний розчин сульфату амонію, отриманий в процесі очищення біогазу, можна вносити у ґрунт по методиці застосування аміачної води. Норма внесення водного розчину сульфату амонію визначається концентрацією N, яка становить:

діючою речовиною в водному розчині сульфату амонію є N, його масова частка становить 20,8-21,0 %. Тобто, в 1 тонні сульфату амонію є 208-210 кг N. Норма внесення аміачної селітри на 1 га редиски, в залежності від типу ґрунту і його хімічного складу, становить 150 кг. Враховуючи, що процентний вміст N в аміачній селітрі становить 34%, знаходимо кількість N, необхідного для внесення на 1 га у складі аміачної селітри:

$$K_e = \frac{H_c \times C}{1000} \quad (5.31)$$

де:

K_e – кількість N у складі аміачної селітри для внесення на 1 га, кг;

C – вміст N в 1 тонні аміачній селітрі, кг;

H_c – норма внесення аміачної селітри на 1 га кг;

1000 – кількість кілограм в 1 тонні.

$$K_e = \frac{150 \times 340}{1000} = 51 \text{ кг}$$

Визначаємо масу водного розчину сульфату амонію, який містить 51 кг N:

$$M_c = \frac{1000 \times K_e}{K_p}, \quad (5.32)$$

де:

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 51 кг N;

1000 – кількість кг в тонні;

K_e – кількість N в складі сульфату амонію, необхідного для внесення на 1 га, $\kappa\Gamma$;

K_p – кількість N в 1 тонні сульфату амонію, $\kappa\Gamma$.

$$M_c = \frac{1000 \times 51}{210} = 242,9 \kappa\Gamma$$

Отже, для утворення 242,9 $\kappa\Gamma$ сульфату амонію необхідно взяти такий же об'єм сірчаної кислоти, пропускаючи через неї біогаз. Ціна 242,9 $\kappa\Gamma$ водного розчину сульфату амонію фактично буде ціною аналогічного об'єму сульфатної кислоти і становитиме:

$$C_m = \frac{M_c \times C_{cy}}{K_p}, \quad (5.33)$$

де:

C_m – ціна 242,9 $\kappa\Gamma$ отриманого водного розчину сульфату амонію, грн;

M_c – маса водного розчину сульфату амонію, яка містить 51 $\kappa\Gamma$ азоту;

C_{cy} – ціною 1 тонни сульфатної кислоти;

K_p – кількість $\kappa\Gamma$ в 1 тонні.

$$C_m = \frac{242,9 \times 850}{1000} = 206,5 \text{ грн.}$$

Визначаємо вартість 150 $\kappa\Gamma$ аміачної селітри зі співвідношення:

1000 – 3500

150 – x,

$$x = \frac{150 \times 3500}{1000} = 525 \text{ грн.} \quad (5.34)$$

де:

1000 – кількість $\kappa\Gamma$ в 1 тонні аміачної селітри;

3500 – вартість 1 тонни аміачної селітри, грн. ;

150 – норма аміачної селітри на 1 га, $\kappa\Gamma$.

Норма внесення аміачної селітри на 1 га, залежно від типу ґрунту і хімічного складу, в середньому становить 150 кг. А згідно з нашими розрахунками, сульфату амонію на 1 га потрібно внести 242,8 кг, щоб замінити амонійну селітру. Вартість 150 кг аміачної селітри – 525 грн./т, а вартість сульфату амонію, при дозі внесення 242,8 кг/га становить – 206,5 грн.

Тоді економія грошей при заміні аміачної селітри сульфатом амонію становитиме:

$$E_{\phi} = B_{ac} - C_m, \quad (5.35)$$

де:

E_{ϕ} – економія грошей при заміні аміачної селітри на 1 га сульфатом амонію, грн.;

B_{ac} – вартість аміачної селітри, необхідної для внесення на 1 га, грн.;

C_m – ціна 242,8 кг отриманого водного розчину сульфату амонію, який є побічним продуктом очистки біогазу, грн.

$$E_{\phi} = 525 - 206,5 = 319 \text{ грн.}$$

5.8. Розрахунок кількості CO₂, NH₃ і H₂S, яка розчиниться у воді пристрою для очистки біогазу, отриманого з однієї тонни гною

З 1 кг гною свиней виділяється 6458,53 см³ біогазу. То з 1 тонни гною виділиться:

$$1000 \times 6458,53 = 6458530 \text{ см}^3, \quad (5.36)$$

де:

1000 – кг в 1 тонні гною;

6458,53 – вихід біогазу з 1 кг свинячого гною, см³;

6458530 см³ – вихід біогазу з 1 т свинячого гною, см³.

У біогазі в середньому 35 % CO₂, 2% NH₃ і 0,3% H₂S.

Знаходимо скільки відсотків CO₂ буде в біогазі з 1 тонни гною, якщо відомо, що вихід біогазу з 1 тонни гною становить 6458530 см³, а CO₂ – 35% зі співвідношення:

$$6458530 \text{ см}^3 - 100 \%$$

$$x - 35 \%$$

$$x = 2260485,5 \text{ см}^3 - \% \text{ CO}_2 \text{ у біогазі з 1 тонни гною.}$$

Знаходимо скільки відсотків NH₃ буде в біогазі з 1 тонни гною, якщо відомо, що вихід біогазу з 1 тонни гною становить 6458530 см³, а NH₃ – 2% зі співвідношення:

$$6458530 \text{ см}^3 - 100 \%$$

$$x - 2 \%$$

$$x = 129170,6 \text{ см}^3 - \% \text{ NH}_3 \text{ у біогазі з 1 тонни гною.}$$

Знаходимо скільки відсотків H₂S буде в біогазі з 1 тонни гною, якщо відомо, що вихід біогазу з 1 тонни гною становить 6458530 см³, а вміст H₂S – 0,3 %:

$$6458530 \text{ см}^3 - 100 \%$$

$$x - 0,3 \%$$

$$x = 19375,59 \text{ см}^3 - \% \text{ H}_2\text{S у біогазі з 1 тонни гною.}$$

1. Тоді знаходимо масу CO₂, яка розчиниться у воді:

$$m(\text{CO}_2) = \frac{2260}{22,4} \times 44 = 4400 \text{ г}, \quad (5.37)$$

де:

$m(\text{CO}_2)$ – маса вуглекислого газу, г;

2260 – літрів CO₂ в біогазі з 1 тонни гною

44 – молекулярна маса CO_2 , г/моль;

22,4 – молярний об'єм газу, л/моль.

Відомо, що розчинність CO_2 при $0\text{ }^\circ\text{C}$ становить 87,8 г на 100 г води.

Тоді в 100 л (100000 г) води розчиниться CO_2 :

100 г – 87,8 г

100000 г – x г CO_2

$$x = \frac{(87,8 \times 10^5)}{10^2} = 87800 \text{ г}.$$

Отже, 87,8 кг CO_2 може розчинитися в 100 л води.

Звідси знаходимо біогаз скількох циклів бродіння необхідно пропускати, щоб отримати насичений розчин CO_2 :

$$\frac{87800}{4400} \approx 20 \text{ циклів}, \quad (5.38)$$

де:

87800 – розчинність CO_2 в 100 л води, г;

4400 – розчиниться в 100 л води CO_2 об'ємом 2260 л, при проходженні газу через воду, г.

Для отримання насиченого розчину CO_2 біогаз з 20 тонн гною пропускаємо через 100 л води.

2. Визначення кількості NH_3 , який розчиниться у воді

Знаходимо масу NH_3 , яка розчиниться у воді:

$$m(\text{NH}_3) = \frac{129}{22,4} \times 17 = 97,9 \text{ г} \approx 98 \text{ г}, \quad (5.39)$$

де:

$m(\text{NH}_3)$ – маса амоніаку, г;

129 – літрів NH_3 в біогазі з 1 тонни гною

17 – молекулярна маса NH_3 , г/моль;

22,4 – молярний об'єм газу, л/моль.

Відомо, що розчинність NH_3 , при 0°C становить 89,9 г на 100 г води.

Тоді в 100 л (100000 г) води розчиниться:

100 г – 89,9 г

100000 г – x г NH_3 ,

$x = 89900$ г NH_3 в 100 л води.

Знаходимо біогаз скількох циклів бродіння необхідно пропускати, щоб отримати насичений розчин NH_3 :

$$\frac{89900}{98} = 917 \text{ циклів,} \quad (5.40)$$

де:

89900 – розчинність г NH_3 в 100 л води;

98 – розчиниться у 100 л води NH_3 об'ємом 129 л, , при проходженні газу через воду, г.

3. Визначення кількості H_2S , який розчиниться у воді:

Знаходимо масу H_2S з відомого об'єму газу:

$$m(\text{H}_2\text{S}) = \frac{19,4}{22,4} \times 34 = 29,2, \quad (5.50)$$

де:

$m(\text{H}_2\text{S})$ – маса сірководню, г;

19,4 – літрів H_2S в біогазі з 1 тонни гною

34 – молекулярна маса NH_3 , г/моль;

22,4 – молярний об'єм газу, л/моль.

Відомо, що розчинність H_2S , при 0°C становить 3,8 г на 1000 г води.

Тоді в 100 л (100000 г) води розчиниться:

1000 г – 3,8 г

100000 – x г H_2S ,

$x = 380$ г H_2S в 100 л води.

Знаходимо біогаз скількох циклів бродіння необхідно пропускати, щоб отримати насичений розчин H_2S :

$$\frac{380}{29} = 13 \text{ циклів,} \quad (5.51)$$

де:

380 – розчинність г H_2S в 100 л води;

29 – розчиниться у 100 л води г H_2S об'ємом 19,4 л, при проходженні газу через воду, г.

5.9. Розрахунок екологічної ефективності виробництва і очистки біогазу

Відомо, що при метановому бродінні активізуються процеси перетворення органічної маси гною тварин (посліду птиці) в добриво і проходять вони за 2–3 тижні, тоді як у природних умовах для дозрівання гною потрібно не менше року. Протягом цього часу, при відкритому зберіганні гною, що в основному спостерігається в більшості господарств, в атмосферу надходять шкідливі гази, забруднюючи її, створюючи неприємні і токсичні запахи на території ферми. Для того, щоб усунути можливість виділення цих шкідливих газів, нами запропоновано хемосорбційний спосіб переробки біогазу, при якому всі шкідливі, супутні метану парникові гази, зв'язуються хімічними реагентами. Таким чином, ми ведемо розрахунок кількості шкідливих газів, які б могли потрапити в атмосферу і спричинити свій негативний вплив на неї. Утилізація їх, запропонованим нами хемосорбційним методом, запобігає цьому.

Згідно з Головним управлінням статистики у Львівській області, на 1 січня 2015 року поголів'я свиней налічувало 340,1 тис. голів, а поголів'я птиці – 8682,8 тис. голів [145].

За добу одна свиня утворює 1,7 кг гною [38, 54], а так як свиней у Львівській області маємо 340,1 тис. голів, то за добу вихід свинячого гною становитиме:

$$П = K \times B, \quad (5.52)$$

де:

$П$ – вихід свинячого гною за добу від усього поголів'я свиней, тонн;

K – кількість поголів'я свиней;

B – вихід свинячого гною за добу від однієї свині.

$$П = (340,1 \times 1,7) = 578,17$$

Знаючи, що у році 365 днів, знаходимо вихід гною за рік:

$$B_p = П \times 365, \quad (5.53)$$

де:

B_p – вихід свинячого гною за рік, тонн;

$П$ – вихід свинячого гною за добу;

365 – кількість днів у році.

$$B_p = 578,17 \times 365 = 211032,05 \approx 211000$$

Згідно з нашими дослідженнями, за один цикл з 1,5 кг гною свиней отримуємо 9687,79 см³ біогазу. Тож, при переробці розрахованої річної маси гною на біогаз, отримаємо біогазу за рік:

$$B_{б.} = \frac{B_p \times B_c}{0,0015}, \quad (5.54)$$

де:

$B_{б.}$ – вихід біогазу за рік;

B_p – вихід свинячого гною за рік;

B_c – вихід біогазу за один цикл бродіння;

0,0015 – закладається свинячого гною на один цикл бродіння.

$$B_{\text{б.}} = \frac{211032,05 \times 0,096878}{0,0015} = 13629575,3 \text{ м}^3 \approx 13629575,3 \text{ м}^3.$$

Отриманий при бродінні гною в промисловій біогазовій установці неочищений біогаз містить в своєму складі такі газові домішки: 55 - 75% CH_4 , 25–45% CO_2 , 2% NH_3 , 1% H_2 , 0,3 % H_2S .

За рік виділяється в атмосферу регіону CO_2 , NH_3 , H_2S :

$$C = \frac{K \times B_{\text{б.}}}{100}, \quad (5.55)$$

C (C_1, C_2, C_3) – виділяється в атмосферу регіону CO_2 (NH_3 , H_2S) з гною свиней;

K (K_1, K_2, K_3) – вміст у процентах CO_2 , NH_3 , H_2S у біогазі;

$B_{\text{б.}}$ – вихід біогазу за рік;

$C_{\text{сумарне}}$ – загальна кількість шкідливих газів від гною свиней.

$$C_1 = \frac{35 \times 13629,575}{100} = 4770,35 \text{ м}^3 \text{CO}_2,$$

$$C_2 = \frac{2 \times 13629,575}{100} = 272,59 \text{ м}^3 \text{NH}_3,$$

$$C_3 = \frac{0,3 \times 13629,575}{100} = 40,888 \text{ м}^3 \text{H}_2\text{S},$$

$$C_{\text{сумарне}} = \left(\sum C_1 + C_2 + C_3 \right), \quad (5.56)$$

де:

$C_{\text{сумарне}}$ – загальна кількість шкідливих газів від гною свиней виділена по Львівській області за рік в атмосферу, яка, при використанні запропонованого методу хемосорбційної очистки біогазу, не виділиться в довкілля;

C (C_1, C_2, C_3) – виділяється в атмосферу регіону CO_2 (NH_3 , H_2S) з гною свиней.

$$C_{\text{сумарне}} = (\sum 4770,35 + 272,59 + 40,88) = 5083,82 \text{ м}^3.$$

При спалюванні метану виділяється еквівалентна йому кількість CO_2 . А так, як CH_4 є у 21 раз сильнішим парниковим газом за CO_2 , екологічний ефект полягає у зменшенні впливу їх на рівень забруднення атмосфери, в тому числі й так званими парниковими газами.

Згідно з даними Головного управління статистики у Львівській області, на 1 січня 2015 року поголів'я птиці складає 8682,8 тис. голів [145]. За добу від однієї голови птиці отримують 0,04 кг посліду [38, 54]. А так, як кількість птиці по Львівській області становить 8682,8 тис. голів, то добовий вихід посліду від них становитиме:

$$P = K \times B, \quad (5.57)$$

де:

P – вихід посліду від усього поголів'я птиці за добу;

K – кількість поголів'я птиці;

B – вихід посліду від однієї особини за добу.

$$P = 8682800 \times 0,04 = 347312 \approx 347 \text{ т}$$

Враховуючи, що у році 365 днів, знаходимо вихід посліду за рік:

$$B_p = P \times 365, \quad (5.58)$$

де:

B_p – вихід посліду від птиці за рік;

P – вихід посліду від птиці за добу;

365 – кількість днів у році.

$$347312 \times 365 = 126768880 \text{ кг} = 126768,880 \text{ т} \approx 126800 \text{ т}.$$

Згідно з нашими дослідженнями, за один цикл з 1,5 кг посліду курей отримуємо 110200,59 см³ біогазу. Тож при переробці, розрахованої за рік маси посліду на біогаз, отримуємо біогазу за рік:

$$B_{\text{б.}} = \frac{B_p \times B_c}{0,0015} \quad (5.59)$$

де:

$B_{\text{б.}}$ – вихід біогазу за рік;

B_p – вихід з посліду птиці за рік;

B_c – вихід біогазу за один цикл бродіння;

0,0015 – закладається посліду птиці на один цикл бродіння.

$$B_{\text{б.}} = \frac{0,1 \times 126768,880}{0,0015} = 8451258,6 \text{ м}^3$$

Враховуючи склад біогазу з 55-75% CH₄, 25-45% CO₂, 2% NH₃, 1% H₂, 0,3% H₂S, за рік може надійти в атмосферу CO₂, NH₃, H₂S:

$$C = \frac{K \times B_{\text{б.}}}{100}, \quad (5.60)$$

C (C_1, C_2, C_3) – виділяється в атмосферу регіону CO₂ (NH₃, H₂S) з посліду птиці;

K (K_1, K_2, K_3) – вміст у процентах CO₂, NH₃, H₂S у біогазі;

$B_{\text{б.}}$ – вихід біогазу за рік;

$C_{\text{сумарне}}$ – загальна кількість шкідливих газів з посліду птиці.

$$C_1 = \frac{35 \times 8451258,6}{100} = 2957940,51 \text{ м}^3 \text{CO}_2,$$

$$C_2 = \frac{2 \times 8451258,6}{100} = 272,59 \text{ м}^3 \text{NH}_3,$$

$$C_3 = \frac{0,3 \times 8451258,6}{100} = 25353,78 \text{ м}^3 \text{H}_2\text{S} ,$$

$$C_{\text{сумарне}} = (\sum C_1 + C_2 + C_3), \quad (5.61)$$

де:

$C_{\text{сумарне}}$ – загальна кількість шкідливих газів від посліду птиці виділена по Львівській області за рік в атмосферу, яка, при використанні запропонованого методу хемосорбційної очистки біогазу, не виділиться в довкілля;

C (C_1, C_2, C_3) – виділяється в атмосферу регіону CO_2 (NH_3 , H_2S) з посліду птиці.

$$C_{\text{сумарне}} = (\sum 2957940,51 + 272,59 + 25353,78) = 3152319,46 \text{ м}^3 .$$

Отже, загальна кількість шкідливих газів від гною свиней і посліду курей за рік на Львівщині, яка не виділиться в атмосферу за запропонованим нами способом очистки (патенти на корисну модель 81058 U, 82188 U і 82770 U) становитиме :

$$C_{\text{заг.}} = C_{\text{сум.св}} \times C_{\text{сум.п}} , \quad (5.62)$$

де:

$C_{\text{сум.п}}$ – загальна кількість шкідливих газів від посліду птиці;

$C_{\text{сум.св}}$ – загальна кількість шкідливих газів від свинячого гною;

$C_{\text{заг.}}$ – загальна кількість шкідливих газів від гною свиней і посліду курей за рік по області.

$$C_{\text{заг.}} = 5083,82 \times 3152319,46 = 3157403,28 \text{ м}^3$$

Утилізація газів знизить рівень забруднення атмосфери та покращить комфорт проживання людей в сільській місцевості.

Висновки до розділу 5

Запропонована нами удосконалена комплексна утилізація гнойових відходів передбачає раціональне їх використання як джерела енергії і добрив.

Внаслідок очищення біогазу поєднанням сорбентів отримуємо корисні мінеральні добрива: аміачну воду і сульфат амонію, очищуючи біогаз від побічних газів. При цьому попереджається виділення в атмосферу від гною свиней і посліду птиці загальної кількості парникових газів за рік на Львівщині в межах 3157403,28 м³, що вагомо зменшує забруднення атмосфери.

За використання запропонованого хемосорбційного способу очищення біогазу не потрібно затратити додаткові кошти на регенерацію сорбенту, так як після завершення процесу хемосорбції ми отримуємо очищений біометан і цінні мінеральні добрива.

Економічний ефект заміни аміачної селітри аміачною водою (отриманою як побічний продукт в процесі водної очистки біогазу) при вирощуванні озимини на 1 га ріллі становить 1225 грн., а заміни аміачної селітри сульфатом амонію (отриманого як побічний продукт в процесі хемосорбційної очистки біогазу) – 743 грн.

Економічний ефект заміни аміачної селітри аміачною водою (отриманою як побічний продукт в процесі водної очистки біогазу) при вирощуванні кукурудзи на 1 га ріллі становитиме 280 грн., а заміни аміачної селітри сульфатом амонію (отриманого як побічний продукт в процесі хемосорбційної очистки біогазу) – 234 грн.

Економічний ефект заміни аміачної селітри аміачною водою (отриманою як побічний продукт в процесі водної очистки біогазу) при вирощуванні редиски на 1 га ріллі становитиме 525 грн., а заміни аміачної селітри сульфатом амонію (отриманого як побічний продукт в процесі хемосорбційної очистки біогазу) – 319 грн.

Отримані екобезпечні добрива – органічний шлам, і екологічно безпечна рослинницька продукція, а також енергоносії – біометан, є важливими економічними аргументами для розвитку безвідходного типу господарства із мінімумом негативного впливу на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 6

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження охопили цілий комплекс актуальних питань теоретичного і практичного значення у контексті утилізації й використання гнойових відходів тваринництва. Отримані нами результати стали доповненням існуючих у вітчизняній і зарубіжній літературі відомостей у сфері екологічних рішень щодо зниження негативного впливу органічних відходів тваринницьких об'єктів на навколишнє середовище, особливо в зоні діяльності їх та в сільській місцевості. На це наголошується в наукових публікаціях минулих років [16, 22, 32, 33, 38, 84].

В основу наших експериментальних досліджень покладений екосистемний підхід, що передбачає нерозривний зв'язок у агропромисловому комплексі тваринницької і рослинницької галузей та навколишнього середовища. На це наголошується в працях Н.Н. Ахмадеева, Н.А. Уразаева, Р.Й. Кравціва, М.В. Черевко та інших [8, 108, 188].

Органічні гнойові відходи є цінним органічним добривом, яке містить необхідні елементи живлення для рослин, який, на думку дослідників вимагає раціонального використання і нормованого внесення в ґрунт [17, 19, 27, 30, 39, 59, 98, 104]. Однак, вони водночас є і джерелом забруднення ґрунту й атмосфери токсичними речовинами та носієм інвазій й інфекційних збудників захворювань тварин і людини. Причому, збудники інфекції в масі гною зберігаються тривалий час, а тривале зберігання не забезпечує самознезараження [8, 23, 33, 84, 188, 196].

Екологічна оцінка якості свинячого гною, за даними різних дослідників, підтверджується високою його забрудненістю патогенною мікрофлорою та яйцями і личинками гельмінтів. Це підтвердили і проведені нами мікробіологічні дослідження зразків свинячого гною і курячого

посліду, які були відібрані в приватних господарствах ТзОВ Самбірська птахофабрика та Фермерське господарство Ратушняка І. П. Зокрема, гельмінтна забрудненість (різних видів яєць гельмінтів та їх личинок) свинячого гною становила 104,2 шт./г, менша курячого посліду (29,3 шт./г). Встановлено також високу обсімененість свинячого гною групою кишкових бактерій *E.coli*: $1,23-3,43 \times 10^3$ /г (при допустимій нормі $1,0 \times 10^2$), загальне бактерійне число ($3,23-5,13 \times 10^6$ /г), що значно перевищує гранично допустимі норми ($1,0 \times 10^3-1,0 \times 10^4$ /г).

На значну забрудненість рідкого гною представниками інвазії, бактеріями *E.coli*, загальне обсіменіння гетеротрофними бактеріями і його санітарно–епізоотичну небезпеку наголошується в роботах А. Н. Иванова (1985), И. С. Белюченко (2006) [16, 84]. Все це підкреслює необхідність вибору ефективного способу знезараження гнойових відходів з метою підвищення екологічної безпеки їхнього використання, що було враховане нами в процесі досліджень.

Небезпеку створює також недотримання санітарно-гігієнічних норм утримання тварин, вимог до умов і тривалості зберігання гнойових відходів.

При зберіганні гною виділяються такі шкідливі гази, як CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S та оксиди Нітрогену, що утворюються в процесі перегнивання його органічних складників. Тому, спеціалісти наголошують на різних способах знезараження і недостатність природного самознезараження [23, 33, 142, 184, 196]. Відзначається, що найбільш доцільними є біологічні способи, зокрема, метанове бродіння.

Загальну схему процесу утворення метану, шляхом метаногенезу, за участю анаеробних метаногенних бактерій запропонували американські вчені Н. А. Баркер [235] і П. Л. Маккарті [248]. Дещо пізніше вона знайшла своє застосування і доповнена В. С. Дубровським [69], І. В. Семененко [189, 191], Н. М. Городнім [60], Куріс Ю. В. [112] та інших публікаціях з цього питання.

Дослідники наголошують на залежність метаногенезу від властивостей зброджуваного матеріалу і факторів середовища, зокрема, від температури бродіння, рН середовища, наявності поживних речовин для метанових бактерій, а також технічного режиму. Ці дані були враховані нами і отримали підтвердження в процесі проведення зброджування свинячого гною і курячого посліду в біогазовій установці. Даний метод, який спочатку, був призначений для виробництва біогазу з відходів тваринництва і рослинництва, був доповнений і спрямований на комплексне використання їх в сільськогосподарському виробництві як продуцента метану і високоефективного органічного добрива – органічного шламу (ефлюента). На це наголошується в наукових публікаціях багатьох дослідників [53, 70, 191, 192, 232, 206].

Перевагами біогазового методу є вирішення ряду важливих екологічних питань: знищення збудників інфекції та представників інвазії, зниження рівня токсичного забруднення атмосферного повітря, усунення неприємних запахів, отримання одночасно екологічно чистих добрив та біопалива [232]. Цим забезпечується екологічність і безвідходність анаеробного процесу переробки гноевих відходів, оскільки всі отримані продукти можна використати на практиці.

Виходячи з актуальності питань щодо вдосконалення існуючої технології метанового бродіння гнойових відходів свиней і курячого посліду, автором, на підставі 7 патентів на корисну модель, було розроблено покращену лабораторну біогазову установку. Схема і принцип її дії описані в 3-му розділі. Її основна відмінність полягає в оснащенні додатковими пристроями для проведення окремих технологічних процесів та їх контролю. Вони дають можливість поєднати одночасно виробництво біогазу, його очистку з процесами знезараження й покращення агрохімічного складу зброджуваної гнойової маси і повного використання проміжних продуктів бродіння.

Важливим технологічним рішенням був вибір оптимальних умов бродіння для реалізації комплексної конверсії гнойових відходів. На це наголошується в багатьох працях [69, 74, 93, 176, 226, 244].

Більшість спеціалістів вважає оптимальною концентрацію сухої речовини у свинячому гної 8-10%, вологість – 92-94% при температурі зброджування 40-41°C [107, 219, 237, 239]. Деталі утилізації гною свиней викладені в працях Шевченка І.Н. (2012), Кравец І. (2010), Hashimoto A.G. (Hashimoto A.G, 1982), Фішера І.Р. (Fischer I.R., 1983), а курячого посліду – Смірнова О.П. (Смирнов О.П. и др., 1982) [107, 197, 219, 237, 239].

Щодо температурного режиму, думки авторів не співпадають. Одні вважають, що оптимальною для мезофільного режиму є температура середовища 32–35°C, а термофільного – 52–54°C. Температура в інтервалі 35–42°C вважається достатньою для мезофільних бактерій і недостатньою для термофільних [191]. Проведені нами дослідження підтвердили коливання об'єму виходу біогазу при різних температурних режимах та активності бродіння свинячого гною і курячого посліду. Кінетика подобового виходу біогазу виражається динамічною кривою, максимумами якої співпадають з високою активністю бродіння. Для поєднання інтенсивності виходу біогазу з одночасним знезараженням гнойових відходів перевагу потрібно надавати термофільному режиму з високою температурою (вище 50°C). Це підтвердили наші дослідження і узгоджується з даними інших авторів. Оскільки, відмирання патогенних мікроорганізмів за умов високої температури проходить за короткий період, то це мало відбивається на загальному виходу біогазу. Процес зброджування при мезофільному режимі триваліший, але забезпечує якісно-кількісні зміни в хімічному складі бродильного субстрату, що підтверджено агрохімічним аналізом гною свиней і посліду курей після бродіння. Однак мезофільний режим не забезпечує повного знезараження. Тому, за умови патогенного забруднення, необхідним є перехід на високотемпературний режим, щоб отримати екологічно чисте добриво. Таку думку, щодо тривалості і відмирання

патогенних організмів у свинячому гної, висловлюють й інші дослідники [33, 53, 192].

Знезараження свинячого гною при температурах 50-55°C супроводжується відмиранням бактерій групи *E. coli* протягом 3-х діб, стафілококів – 4-х діб. При температурі 40–42°C відмирання їх тривало відповідно 7 і 9 діб. Шляхом зміни температурного режиму на різних етапах бродіння нам вдалося різко зменшити загальне число бактерій і бактерій групи *E. coli* (до рівня нижче ГДК). Для контролю і підтримання необхідних умов для діяльності метаногенних бактерій було розроблено спеціальний пристрій для видалення повітря із надгнойового простору в біореакторі.

Щодобовий контроль виходу біогазу показав, що з курячого посліду (за умови термофільного режиму бродіння) вихід біогазу за 10 діб був у 1,3 рази більшим, ніж із свинячого гною. Найбільша інтенсивність виходу біогазу з свинячого гною спостерігалася на другу-четверту доби, а з курячого посліду – на другу, четверту-сьому доби. Це важливо для виробників біогазу за рахунок нетрадиційних відновлюваних джерел.

Гнойових запасів у межах регіонів України достатньо, але вони розділені нерівномірно [36]. За нашими підрахунками, у Львівській області, на початок 2015 року, виходячи з чисельності поголів'я свиней 340,1 тис. голів та курей (разом птиці) – 8682,8 тис.), річні запаси свинячого гною становили 211,03205 т, а курячого посліду – 126768,880 т. Запропонована технологія їх утилізації дозволить запобігти викиду в атмосферу області з гною свиней – 5084 м³ шкідливих газів, а від посліду птиці – 3152320 м³.

Стратегічно, найбільш актуальним залишається використання гнойових ресурсів для виробництва біогазу шляхом метанового бродіння. Потенціальний вміст енергії з свинячого гною за один цикл бродіння становить 9687,79 см³ біогазу з 1,5 кг гною свиней. За один цикл бродіння в біогазовій установці, запропонованій автором, з 1,5 кг посліду курей можна отримати 11200,59 см³ біогазу. Важливість такої біоконверсії органічних відходів тваринництва полягає у запобіганні забрудненням ними та їх

продуктами навколишнього середовища і отриманні нового джерела палива чи електроенергії [131].

Отриманий в процесі метанового зброджування гнойових відходів біогаз є сумішшю газів: 55–75% CH_4 , 25–45% CO_2 , до 2% N_2 , до 0,3% H_2S . Тому, для видалення сторонніх домішок, біогаз вимагає очистки. При спалюванні неочищеного біогазу його шкідливі газові сполуки будуть виділятися в атмосферу і спричинити її певне забруднення. Рекомендовані способи грубої очистки (водою під тиском, етаноламіном, гарячим розчином соди) забезпечують лише часткове видалення газових домішок біогазу. Для отримання чистішого і високоякісного біогазу, рекомендуються різні способи тонкої очистки. Зокрема, лужне очищення від CO_2 , та адсорбційне метанолом, біокаталітична безреагентна технологія очищення від H_2S та ін. [137, 184, 196].

Водна очистка ефективна за умови, коли один і той же біогаз насосом кілька разів пропускати через одну і ту ж воду. Нами було модифіковано цей спосіб за рахунок очисного пристрою, в якому, проходячи через наявну в ньому воду, відбувалася утилізація CO_2 , H_2S і NH_3 з продовженням бактеріальної очистки газів у воді аеробними метаногенними і метанотрофними бактеріями, занесеними у пристрій біогазом з бродильної камери.

Після утилізації шкідливих газів очищувальну воду, насичену мінеральними сполуками та корисною мікрофлорою, можна використовувати як рідке добриво з високим вмістом Нітрогену.

Нами запропоновано для тонкої очистки біогазу і повного використання корисних продуктів метанового бродіння хемосорбційний спосіб очистки (патент на корисну модель 82770 U). Він передбачає поетапне очищення біогазу водою, а після цього у хемосорберах, за допомогою концентрованої H_2SO_4 (біогаз звільняється від NH_3) та 10% водного розчину NaOH (вивільняється CO_2). Автором досліджено показники складу біогазу з посліду курей і гною свиней після очистки. Біогаз із курячого посліду після очистки водою містить 66,4% метану та 32,9% вуглекислого газу. Після

очистки хемосорбентами вміст метану досягнув 97%, а вуглекислого газу зменшився до 3%.

Дещо нижчою за якістю відзначається біогаз, отриманий при бродінні свинячого гною. В ньому після водної очистки міститься 60% CH_4 і 40% CO_2 , а після очистки хемосорбентами – 95% метану і 4,9% CO_2 . Такі результати свідчать про явну перевагу запропонованих простих хемосорбентів для практично повної очистки біогазу до метану.

Адсорбовані із біогазу хемосорбентами домішки перетворюються у цінні, рідкі мінеральні добрива: NH_4OH і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ з високою (до 16 – 25%) концентрацією доступного рослинам Нітрогену в амонійній формі.

В процесі досліджень вивчено вплив метанового бродіння на агрохімічні та агроекологічні характеристики свинячого гною та курячого посліду. Результати досліджень свідчать про відсутність змін валового вмісту основних біогенних елементів (NPK). Встановлено, що у посліді курей і гною свиней збільшився вміст N- NH_4 в 1,6–2,3 рази та знизився вміст органічних сполук Карбону – в 1,5 рази. Подібні результати отримані й іншими дослідниками, стосовно гною великої рогатої худоби, свиней [89, 117, 192]. Це вказує на зв'язок характеру зброджування з особливостями хімічного складу гнойових відходів та кормового раціону тварин.

Екологічність добрива, отриманого після бродіння, покращується за рахунок патогенної чистоти. Після бродіння, за термофільного режиму, гельмінтнозабруднених свинячого гною та курячого посліду встановлена повна відсутність патогенів.

З літературних джерел, що стосуються застосування органічних і мінеральних добрив, відомо, що вони сприяють підвищенню родючості ґрунту і забезпечують можливість отримання екологічно чистої продукції [60, 183, 185].

Вивченню впливу органічного шламу, отриманого в процесі зброджування свинячого гною, на ріст і формування зеленої маси кукурудзи проведено у польовому досліді на ясно-сірому легкосуглинковому ґрунті. У

фазі вегетації рослини провели підживлення розведеним водою органічним шламом (1 : 1) з розрахунку 3 т і 9 т/га. Отримані результати показали, що на час збору урожаю висота рослин на варіанті з внесенням добрива з розрахунку 9т/га у 2,5 рази переважала висоту їх в контролі. Відповідно, приріст урожаю зеленої маси був найвищим. Це пояснюється високим вмістом у добриві N-NH₄ (0,26%).

Виходячи з світової практики, головним залишається переробка гною для виробництва біогазу. Дослідження впливу метанового бродіння різних типів гнойових відходів на утворення органічного шламу й його агрохімічні показники заслуговують на значно більшу увагу, оскільки ефективність цього добрива та норми внесення для певних сільськогосподарських культур вимагають детальних розробок.

Екологічно чисті добрива є неодмінною умовою розвитку біологічного рослинництва та біодинамічного сільського господарства на що ми наголошуємо при еколого-економічному обґрунтуванні.

Вирішуючи проблему утилізації органічних відходів тваринництва, запропонованими в дисертації методами та способами безвідходної метанізації, в певній мірі розв'язується два із основних завдань сучасної екологічної науки: раціонального природокористування і охорони навколишнього середовища та забезпечення господарств енергією та екологічно чистими добривами.

Теоретичні розрахунки, які ґрунтуються на успішності наших експериментів, показують, що Львівщина має великий потенціал отримання біогазу та широкі можливості збільшення кількості внесення екологічно безпечних добрив у землеробстві (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Обсяги й шляхи утилізації шкідливих для довкілля компонентів

Утилізований компонент, показник	Свинячий гній	Курячий послід	Свинячий гній	Курячий послід	Утилізація		
	з однієї тонни, см ³		в масштабах Львівщини, м ³		Використання	Загальний обсяг	Енергетична/ економічна ефективність
Метан	3875118	4480236	817,6	567954,5	Енергетика (біогаз зі свинячого гною)	13629575,3 м ³	40888725,9 кВт/год електроенергії і 3028794,5 кВт/год теплової енергії.
Сірководень	19375,59	22401,2	4,1	2839,8	Добриво	211000 т	
Аміак	129170,6	149341,2	27,3	18931,8	Енергетика (біогаз із курячого посліду)	8451258,6 м ³	25353775,8 кВт/год електроенергії і 38030663,7 кВт/год теплової енергії
Вуглекислий газ,	2260485,5	2613471	1362,8	331306,8	Добриво	126800 т	
Парникові гази разом	13549599,09		923244,7		Разом енергетика /добриво	30532092,5 м ³ /337800 т	66242501,7 кВт/год електроенергії і 41059458,2 кВт/год теплової енергії.
Загальне число бактерій, КУО/г	$5,13 \times 10^{12}$	$1,83 \times 10^{12}$	$10,8 \times 10^{17}$	$2,32 \times 10^{17}$	Перетворюються в органічну речовину		
Кількість яєць гельмінтів в 1 г, од.	$96,7 \times 10^3$	$29,3 \times 10^3$	$20,4 \times 10^9$	$37,1 \times 10^8$			
Сумарна кількість яєць гельмінтів, од./тонну	102×10^3		$24,11 \times 10^9$ (по області)				
Разом загальне число бактерій, *КУО/тонну	$6,96 \times 10^{12}$		$13,1 \times 10^{17}$ (по області)				

Виходячи з теперішніх виробничих потужностей свиного комплексів та птахофабрик у межах нашого регіону переконуємося, що впровадженням запропонованих нами розробок у масштабах Львівщини можна запобігти викиду в атмосферу $817,6 \text{ м}^3$ енергомісткого метану від свинячого гною та $567954,5 \text{ м}^3$ від курячого посліду. За умови виробництва біогазу на рекомендованих нами удосконалених комплексах це означає отримання зі свинячого гною $13629575,3 \text{ м}^3$ біометану, що еквівалентно $3028794,5 \text{ кВт/год}$ теплової енергії.

Утилізація сірководню дає 211000 т добрива з діючою речовиною азоту у прийнятній для внесення під культури формі.

З курячого посліду можна запобігти виділенню в атмосферу $18931,8$ аміаку та отримати $8451258,6 \text{ м}^3$ біогазу. Це еквівалентно $3028794,5 \text{ кВт/год}$ теплової енергії.

Загалом за нашою технологією ми упереджуємо зменшення викидів парникових газів разом по Львівщині на $923244,7 \text{ м}^3$. Водночас це сукупно дає можливість отримати у межах області $66242501,7 \text{ кВт/год}$ електроенергії або $41059458,2 \text{ кВт/год}$ теплової енергії.

Отже, технологія утилізації парникових газів сукупно запобігає викиду з гнойових відходів $2843,9 \text{ м}^3$ сірководню, $1859,1 \text{ м}^3$ аміаку, $332679,6 \text{ м}^3$ вуглекислого газу в атмосферу.

Термічна ферментація гнойових відходів свинарства і птахівництва за нашою удосконаленою технологією упереджує потрапляння на поля величезної кількості патогенних організмів, що робить їх землеробське використання екологічно безпечним та агрономічно ефективним.

Виходячи з екологічних засад розвитку сільськогосподарської галузі, необхідно вдосконалювати функціонування його виробництва на основі замкнутих безвідходних технологій за моделлю біодинамічного господарства з автономним енергозбереженням (рис. 6.1).

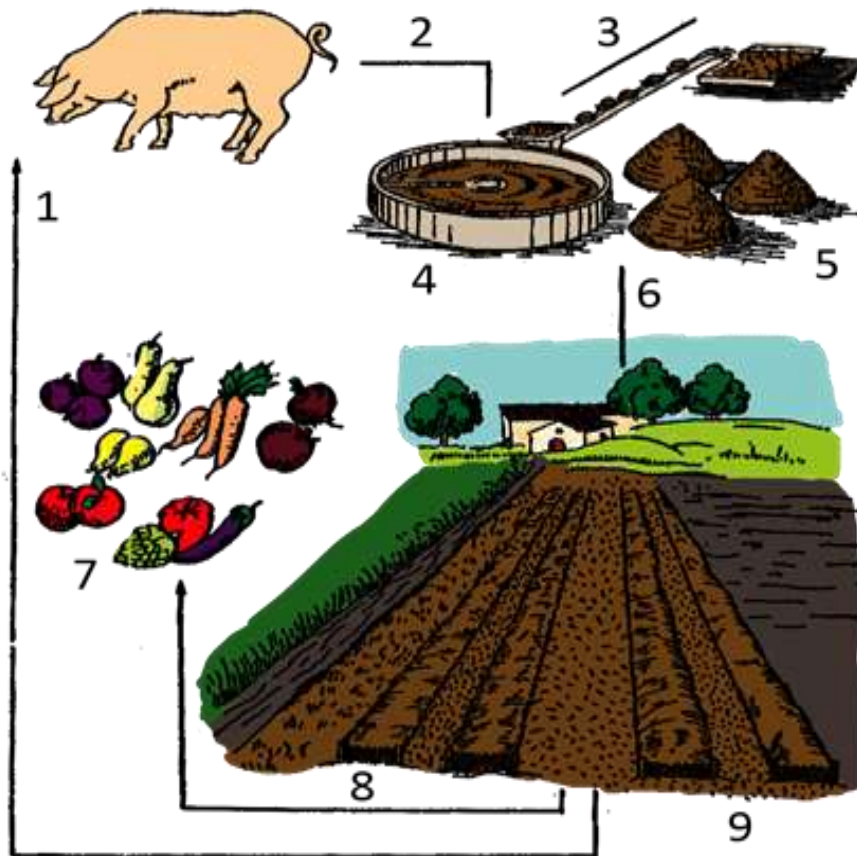


Рис. 6.1. Схема безвідходного сільського господарства замкнутого циклу:

1 – тварина; 2 – відходи тваринництва; 3 – конвейєр; 4 – метантенк; 5 – добрива; 6 – використання добрив; 7 – екологічно безпечна продукція; 8 – підвищення й поліпшення якості врожаю; 9 – підвищення родючості ґрунту і вмісту гумусу.

Виходячи з цього, недоцільно будувати тваринницькі комплекси-гіганти, які здійснюють негативний вплив на середовище проживання в них людей. Слід враховувати особливості ландшафтів, географічного розміщення їх відносно ринку збуту продукції, забезпечення водними та іншими ресурсами для їх розвитку.

Дослідження свідчать про, те що залишаються невирішеними питання організації діяльності тваринницьких об'єктів у приватному й індивідуальному секторі АПК, забезпечення їх належним ветеринарно-

санітарним контролем з метою запобігання екологічної небезпеки для довкілля і тваринницької продукції для людей.

Потребує еколого-економічного підходу і вдосконалення біогазова галузь з переведенням її на науково-обґрунтовані технології та раціональне використання високоефективних добрив.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження спрямоване на вдосконалення екологічно безпечних та малозатратних технологій утилізації відходів тваринництва вирішенням комплексу питань, пов'язаних з оптимізацією процесу бродіння гнойових відходів, удосконалення конструкції біогазової установки, спроможної забезпечити знезаражування гною, анаеробного продукування з нього й очищення метану від домішок парникових газів, отримання екобезпечного органічного шламу і рідкого мінерального добрива, придатних для використання у землеробстві.

1. Аналіз наукових досліджень і практичного застосування безвідходних технологій у свинарстві і птахівництві показав, що з міркувань підвищення екобезпеки й ефективності утилізації гнойових відходів потребує подальшого науково-виробничого удосконалення технологія метанового бродіння та обґрунтування доцільності й ефективності використання ферментованого шламу у землеробстві.

2. Розроблена та виготовлена авторська лабораторна біогазова установка, доповнена ефективними пристроями для безвідходної утилізації гнойових відходів тварин і зниження рівня їхнього негативного впливу на довкілля дає змогу:

– позбутися повітря (у тому числі азоту й кисню) з резервуара-генератора біоустановки, яке потрапляє під час завантаження його свіжими гнойовими відходами, і збільшити пропорцію метану в біогазі на 17,9% порівняно з біогазом, отриманим без використання доданого нами пристрою для видалення повітря з ємності біоустановки;

– домогтися очистки біогазу від попутних компонентів: аміаку, сірководню й вуглекислого газу, з утворенням рідкого мінерального добрива з умістом азоту 16,5–20,5%;

– довести можливість повної хемосорбційної очистки біогазу й отримати на 93-95% чистий метан з утворенням добрива – сульфату амонію і соди.

3. Дослідження подобової кінетики анаеробного продукування біогазу показало, що найактивніше виділення його зі свинячого гною відбувається протягом другої-четвертої діб, а з курячого посліду – на другу, і згодом на шосту й сьому доби. Максимальна частка біогазу з гною була отримана на другу-четверту доби (17,2%, 18,9, 12,5%), а з посліду – на другу (18,1%), шосту (15,1%) й сьому (15,7%) доби.

4. Отриманий в експериментальній біогазовій установці органічний шлам за ферментації за температури 65°C позбавляється вмісту яєць, личинок гельмінтів і патогенних бактерій до екобезпечного рівня. До ферментації вони містяться у гною свиней і посліді курей у кількості відповідно: 96,7 і 29,3 од./г, а загальне число бактерій становить $5,13 \pm 0,09 \times 10^6$ і $1,83 \pm 0,17 \times 10^6$ КУО/г, що на чотири порядки перевищує екобезпечні норми.

5. Унаслідок анаеробної ферментації органічний шлам, отриманий зі свинячого гною і курячого посліду, зберігає вміст основних біогенних елементів в них на рівні, відповідно: загального азоту – 1,41 і 1,87, амонійного азоту – 0,28 і 0,65, фосфору – 0,93 і 1,4, калію – 4,1 і 5,4%.

6. Польові дослідження агрономічного впливу ферментованого шламу показали його позитивний вплив на ріст, врожайність і якість вирощеної рослинницької продукції:

– за норми внесення 9 т/га органічного шламу врожай зеленої маси кукурудзи становив 48,0 т/га, що на 14,0 т/га більше, ніж за відсутності добрив, а поєднання органічного шламу 6 т/га з мінеральними добривами у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ підвищувало врожай на 25,8 т/га порівняно з контролем без добрив;

– збільшення норми удобрення редиски ферментованим шламом від 6 до 23 т/га супроводжувалося збільшенням урожаю коренеплодів від 6,0 до 23,9 т/га, порівняно з контролем без добрив, за зниження вмісту нітратного азоту в коренеплодах на 60-69%.

7. Розрахунковий економічний ефект від заміни аміачної селітри аміачною водою, отриманою як побічний продукт у процесі водної очистки

біогазу, за вирощування кукурудзи й редиски з 1 га ріллі становить відповідно 280 і 525 грн. Заміна аміачної селітри на сульфат амонію – побічний продукт хемосорбційної очистки біогазу – забезпечує відповідно: 234 і 319 грн економії. Отримання корисних хемосорбційних відходів підтверджує додаткову вигоду екобезпечної технології ферментації гнойових відходів та очистки біогазу.

8. Еколого-економічне обґрунтування ефективності безвідходної утилізації гнойових відходів свинарства і птахівництва свідчить про можливість упередження у Львівській області викидів в атмосферу 2843,9 м³ сірководню, 1859,1 м³ аміаку та 332679,6 м³ вуглекислого газу, а також потрапляння в агроландшафт $13,1 \times 10^{17}$ колонієутворювальних одиниць патогенних бактерій та $24,11 \times 10^9$ одиниць яєць гельмінтів. Це робить їх екобезпечними й привабливими для утилізації у процесі агрономічного використання.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З метою запобігання забрудненню довкілля гнойовими відходами свинарства і птахівництва рекомендуємо їх безвідходну утилізацію з використанням удосконаленої ферментаційної біогазової установки, дообладнаної нами додатковими пристроями й матеріалами (Патенти: № 69130; № 77073; № 82188) для отримання на 93-95% чистого метану, рідкого мінерального добрива з умістом азоту 16,5–20,5% і позбавленого яєць, личинок гельмінтів і патогенних бактерій екобезпечного й агрономічно ефективного органічного шламу.

2. Ферментований за нашою удосконаленою технологією (вибір оптимальних температурних режимів та отримання рідкого мінерального добрива як побічного продукту очистки біогазу) свинячий гній і курячий послід – органічний шлам, рекомендуємо утилізувати внесенням як органічного добрива під кукурудзу на зелену масу в нормі 9 т/га та в поєднанні з N₁₂₀P₉₀K₉₀ – 6 т/га, під редиску – в нормі від 6 до 23 т/га.

3. Хемосорбенти у формі розчину аміаку (аміачної води) та сульфату амонію, що містять 16,5–20,5% азоту, рекомендуємо використовувати замість аміачної селітри, що забезпечує економію коштів від 234 до 525 грн/га залежно від вирощуваної культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агроекологія / [Городній М.М., Шикуча М.К., І. М. Гудков і ін.]; під ред. М. М. Городнього. – К.: Вища школа, 1993. – 416 с.
2. Агроекологія / О.Ф. Смаглій, А.П. Кардашов, П.В. Литвак [і ін.] під ред. О. Ф. Смаглія. – К.: Вища школа, 2006. – 671 с.
3. Адаменко О. М. Альтернативні та інші нетрадиційні джерела енергії. Монографія. – Івано – Франківськ: ІМЕ, 2001. – 432 с.
4. Адаменко О. І. Енергоощадне отримання біогазу / О. І. Адаменко, М. К. Лінник, М. І. Городній // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 5. – С. 47 – 51.
5. Альтернативы природному газу в Украине в условиях энерго- и ресурсодефицита: промышленные технологии: [монографія] Н. А. Янковський, Ю. В. Макогон, А. М. Рябчин, Н. И. Губатенко / под. ред. Ю. В. Макогона. – Донецк: ДОННУ, 2011, – 247 с.
6. Ананьев В. В. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития: научно-технический обзор/ В. В. Ананьев, И. С. Горячева, В. И. Сидорова. – МСХРФ. – М.: ФРНУ. Росинформагротех, 2007. – 130 с.
7. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. – Київ: НАН України, 2001.
8. Ахмадеев А. Н. Ветеринарная экология / А.Н. Ахмадеев, И.М. Колесников [и др.] под. ред. Д.Н. Уразаева, В.М. Трухачева – М.: Колос, 2002. – 238 с.
9. Баадер В. Биогаз: теория и практика / Баадер В., Доне Е., Бренндефер М.; [пер.с нем. М. И. Серебряного]. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
10. Бабієв Г. М. Перспективи впровадження нетрадиційних джерел енергії в Україні / Г. М. Бабієв, Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // Електронний журнал. – Запоріжжя: ВАТ «Гамма». – 1998. – № 1. – С. 63 – 64.

11. Баглаєнко Д. В. Біомаса як альтернативне джерело енергії / Д. В. Баглаєнко, Б. А. Адамчук // Екологічний вісник. – 2005. – № 13. – С. 24 – 25.
12. Бамбіда Д. І. Екологічні кризові явища у сільськогосподарському землекористуванні / Д. І. Бамбіда // Вісник аграрної науки. – 2005. № 1. – С. 49.
13. Беспамятнов Г. П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г. П. Беспятова, Ю. А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 375 с.
14. Безуглий М. Енергоносіям з біосировини – науковий підхід / М Безуглий // Аграрний тиждень. – 2010. – № 2. – С. 14.
15. Безус Р. М. Еколого-економічні аспекти розвитку органічного агровиробництва / Р. М. Безус, О. В. Бухало // Агросвіт. – 2012. – № 8. – С. 27– 29.
16. Белюченко И. С. Оценка влияния отходов животноводства на состояние воздушной среды / И. С. Белюченко, В. Н. Гукалов, М. В. Яценко // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 116 – 120.
17. Биоудобрения – основа повышения качества сельскохозяйственной продукции/офіційний сайт компанії ZORG [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://www.zorg.ua/biblioteka/bioudobrenie>.
18. Біодобриво як продукт утилізації гною методом метанового бродіння 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.
19. Біологічне землеробство / О. І. Зінченко, О. С. Алєєва, П. М. Приходько [і ін.]. – К.: Вища школа, 1996. – 239 с.
20. Білявський Г. О. Основи екології: теорія і практикум / Г. О. Білявський, Л. І. Бутченко. – Київ: Либідь, 1997. – 160 с.

21. Богданов Г. О. Проблеми метаногенезу та шляхи їх розв'язання / Г. О. Богданов // Вісник аграрної науки. – 2009 р. – № 7. – С. 36 – 38.
22. Басюк В. Проблеми захисту навколишнього середовища та економічного зростання в Україні / В. Басюк, О. Білоус // Вісник НАН України. – 1994. – № 9 – 10. – С. 31 – 37.
23. Баранников В.Д. Охрана окружающей среды в зоне промышленного животноводства / В. Д. Баранников. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 115 с.
24. Болоховська Н. Біодеструктори на сторожі здоров'я ґрунту / В. Болоховська, Н. Нагорна // Пропозиція. – 2012. – № 5. – С. 60.
25. Борисов Б. Санітарно–екологічна безпека питних водних ресурсів сільських територій / Б. Борисов // Аграрна справа. – 2012. – № 20. – С. 14 – 15.
26. Бородіна О. Відновлювана енергетика – перспективи для сільського господарства України / О. Бородіна., М. Шевчишин // Пропозиція. – 2008. – № 10. – С. 5.
27. Базилевская М. В. Биодобрения. – М.: Агропромиздат, 1989. – 126 с.
28. Булгакова М. Участь України в міжнародних переговорах з питань зміни клімату: офіційна позиція України та погляд громадськості / М. Булгакова // Екологія. Право. Людина. – 2011. – № 11 – 12. – С. 18 – 27.
29. Булигін С. Зберігати, відтворити і охороняти / С. Булигін // Аграрна справа. – 2012. – № 11. – С. 8 – 9.
30. Бураков І. Захист в органічному землеробстві / І. Бураков // The Ukrainian Farmer. – 2010. – № 4. – С. 30 – 32.
31. Варченко О.М. Економічний механізм регулювання ринку біопалива у провідних країнах світу / О. М. Варченко // Вісник аграрної науки . – 2009. – № 11. – С. 62 – 67.
32. Васильев В.А. Применение бесподстильного навоза для удобрения / В. А. Васильев, И. М. Швецов. – М.: Колос, 1983. – 173 с.

33. Вашкурлат Н.П. Гигиена животноводческих комплексов и охрана окружающей среды: навч. пос. для студ. / Н.П. Вашкурлат, Е. И. Гончарук, Я. И. Костовецкий. – К.: Здоров'я, 1995. – 88 с.
34. Веденев А. Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – Бишкек: Евро, 2006. – 90 с.
35. Вербицкий П. І. Довідник лікаря ветеринарної медицини: підруч. [для лікарів та фельдшерів ветеринарної медицини, наукових працівників вищих аграрних закладів освіти] / Вербицкий П. І., Достоевський П. П., Бусол В. О. – К.: Урожай, 2004. – 1280 с.
36. Вербинський В.В. Регіональна енергетична політика України та шляхи її реалізації / В. В. Вербинський, М. Г. Земляний. – Дніпропетровськ, 2003. – 64 с.
37. Відал Джон. Швеція:перша у світі економіка, вільна від нафти / Відал Джон // Зелена енергетика. – 2006. – № 1. – С. 8.
38. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2007. – 152 с.
39. Воды минеральные, питьевые, лечебные, лечебно–столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонат-ионов (титрометрический метод): ГОСТ 23268.3 – 78. – [Введ. 1978–01–09] – Изд–во стандартов, 1978. – 15 с. – (Государственные стандарты Союза ССР).
40. Вода питьевая. Метод определения полифосфатов: ГОСТ 18309–72. – [Введ. 1972–28–12]. – Изд–во стандартов, 1972. – 1 с. – (Государственные стандарты Союза ССР).
41. Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ: ГОСТ 4192–82. – [Введ. 1982–25–01]. – Изд–во стандартов, 1982. – 2 с. – (Государственные стандарты Союза ССР).

42. ВНТП – АПК – 09.06. Відомчі норми технологічного проектування. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною (видання офіційне). – На заміну ВНТП – СГ і П – 46 – 9.94. [Чинний від 2006 – 01 – 06] – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 100 с.
43. Возняк Ю. Біоорганічні добрива – біологічному землеробству / Ю. Возняк // Винахідник і раціоналізатор. – 2004. – № 1. – С. 26.
44. Васильев В.А. Органические удобрения в интенсивном земледелии. – К., 1989. – 29 с.
45. Гавриш В.І. Методичні аспекти визначення напрямку використання біогазу / В. І. Гавриш // Агросвіт. – 2011. – № 19. – С. 8.
46. Гармаш С.М. Біоконверсія рослинних відходів агропромислового комплексу та агроекологічна оцінка застосування біодобрив у північному Степу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.16 „Екологія”/ С. М. Гармаш. – Дніпропетровськ, 2007. – 21 с.
47. 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.
48. Гро Андрэ. Практическое руководство по применению удобрений / Андрэ Гро; [пер. с франц. Н.А. Емельяновой и Н.М. Ильчука]. – М.: Колос, 1966. – 351 с.
49. Гелетуха Г. Біомаса заміщує газ / Г. Гелетуха // Зелена енергетика. – 2006. – № 1. – С. 9 – 11.
50. Гелетуха Г. Г. Біоенергетика в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна // Матеріали для дебатів з питань енергозбереження, 2011. – Івано – Франківськ: Агенств. з розв. «Приватн. ініціативи», 2011. – С. 18 – 23.
51. Гелетуха Г. Г. Біоенергетика в Австрії / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна // Зелена енергетика. – 2003. – № 2. – С. 18 – 19.
52. Гелетуха Г. Г. Енергозабезпечення України: погляд у 2050 рік / Г. Г. Гелетуха // Зелена енергетика. – 2003. – № 4. – С. 7 – 10.

53. Гелетуха Г. Г. Современные технологии анаэробного збраживания биомассы. Обзор / Г. Г. Гелетуха, С. Г. Кобзарь // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 3 – 10.
54. Георгиевский В. И. Физиология сельськохозяйственных животных / В. И. Георгиевский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 520 с.
55. Гнатів П. С. Програма екозбалансованого розвитку на основі природно-ресурсних критеріїв / П. С. Гнатів, В. В. Снітинський, П. Р. Хірівський, П. М. Грицишин // Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву : каталог наукових розробок / за заг. ред. В. В. Снітинського, В. І. Лопушняка. – Львів : ЛНАУ, 2010. – Вип.10. – С. 4 – 5.
56. Голуб Г. А. Проблеми біоконверсії органічної сировини в агроценозах / Г. А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 1. – С. 43 – 47.
57. Гомаль І. І. Запобігання зміні клімату: глобальні і регіональні аспекти: підруч. [для широкого кола читачів, студентів менеджменту зовнішньоекономічної діяльності і екологічних спеціальностей, співробітників екологічних організацій] / І. І. Гомаль, О. М. Рябич. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 296 с.
58. Гончарук Т. В. Розвиток та ефективність виробництва сільськогосподарської продукції – сировини для переробки на біопаливо / Т. В. Гончарук // Економіка АПК. – 2013. – N 8. – С. 128 – 133.
59. Городній М. М. Інтенсивна система природоохоронної політики і технології АПК / М. Городній, С. І. Якушко // Наутілус. 1996. – № 2. – С. 2–6.
60. Городний Н. М. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве / Н. М. Городний, Н. А. Мельник, М. Ф. Повхан и др. – К.: Вища школа, 1993. – 256 с.
61. Городний Н.М. Агрохимия: учебн. изд. [для студ. агроном. спец. вузов] / Н. М. Городний. – К.: Выща школа, 1990. – 286 с.

62. Городовська Т. Б. Региональные индикаторы экологического измерения устойчивого развития Житомирской области в частности обращения с отходами / Т. Б. Городовська // Екологічна безпека. – 2012. – № 1. – С. 35 – 37.
63. Гунько О. На біогазі можна заощадити 20 мільярдів кубів газу / О. Гунько // Зелена хвиля. – 2009. – С. 1 – 2.
64. Денисов В. А. Экологические аспекты подготовки к использованию безподстильного навоза / В. А. Денисов // Материалы научн. – практ. конф. [«Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства»] / Всерос. научн.- исслед., конструкт. и проект.-технол. ин-т орган. удобрений и торфа. – Владимир, 2006. – С. 54 – 57.
65. Досвід Європи як приклад для наслідування // Україна – Євросоюз. – 2008. – вип. 1. – С. 6 – 7.
66. Долінський А. А. Енергозабезпечення та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 10. С. 24 – 25.
67. Джигирей В.С. Основи екології та охорони навколишнього середовища / Джигирей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. – Л.: Афіша, 2001. – 272 с.
68. Дубровский В. С. Получение биогаза из отходов свиноводческого комплекса / В. С. Дубровский // Труды Латв. с.-х. академии. – 1985. – № 228. с. 61 – 63.
69. Дубровский В. С. Метановое сбраживание сельскохозйственных отходов: [монография] / В. С. Дубровский, У. С. Виестур. – Рига: Знание, 1988. 204 с.
70. Дурдыбаев С.Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства/С. Д. Дурдыбаев, В. С. Данилкин, В. Н. Рязанцев. – М.: Агропромформ, 1989. – 53 с.
71. Дубровін В. Українське біопаливо: вихід з енергетичного тупика / В. Дубровін // Зелена енергетика. – 2006. – № 2. – С. 9 – 11.

72. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України / Г. М. Забарний, А. В. Шурочков. – К.: НАН України. Інститут технічної теплофізики, 2002. – 211 с.
73. Зінченко В.О. Біомаса як альтернативне джерело енергії / В. О. Зінченко // Екологічний вісник. – 2005. – № 13. – С. 24 – 25.
74. Зінченко М.Г. Оптимізація процесу метанового зброджування відходів тваринницьких комплексів /М. Г. Зінченко, Н. А. Цейтлін, І. В. Семененко //Химическое и нефтяное машиностроение. – М.: 1990. – № 4. – С. 18 – 22.
75. Закон України «Про відходи» // Відомості ВРУ. – 1998. – № 50 – 51. – С. 3 – 10.
76. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» 25. 09. 2008.
77. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. – Міністерство палива та енергетики України, 2006.
78. Эббот Роберт. Свиноводство: новые возможности биогаза / Р. Эббот // Корми і факти. – 2012. – N 4. – С. 8–9.
79. Эффективнее использование энергоресурсов и альтернативная энергетика / Под. ред. ак. НАН Украины А.В. Шидловского. – Киев. Укр. енцикл. Знания, 2000. – 302 с.
80. Электроэнергетика и природа: экологические проблемы развития энергетики. – М: Энергоатомиздат, 1995. – 60 с.
81. Жарова Л. В. Економічні механізми контролю за викидами парникових газів: підруч. [для фахівців в галузі економіки, державного управління, науковців, викладачів, студентів] / Л. В. Жарова, М. В. Ільїна. – Київ – Сімферополь, 2009. – 62 с.
82. Жданович Л. О. Нетрадиційні системи для енергозабезпечення села / Л. О. Жданович // Винахідник і раціоналізатор. – 2001. – № 2. – С. 2–3.
83. Жовнір М. солома обігриває село / М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін // Зелена енергетика. – 2007. – № 5. – С. 53

84. Иванов А. Н. Изучение влияния животноводческих комплексов на окружающую среду и инфекционную заболеваемость населения /А. Н. Иванов // Гигиена и санитария. – 1985. – № 9. – с. 13 – 16.
85. Использование метода биотестирования для оценки токсичности и установления класса опасности отходов производства и потребления / Е. И Муравьев, И. С. Белюченко, Т. В Воронкова [и др.] // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 121 – 125.
86. Ісаєв В. Біогаз із... «мішка». Селянин забезпечує свою сім'ю голубим паливом, не витрачаючи на це жодної копійки / В. Ісаєв // Львівські новини (Господар). – № 3 – 4. – 2013. – С. 5.
87. Ішков В. І. Енергетична концепція України / В.І. Ішков // Винахідник і раціоналізатор. – 1999. – № 4. – С. 4 – 6.
88. Калетник Г. М. Вплив біоенергетики на екологічний стан навколишнього середовища України / Г. М. Калетник // Вісник аграрної науки. 2009. – № 10 – С. 53 – 57.
89. Кернасюк Ю. В. Вплив традиційної і біоенергетичної технології використання гною на економічну ефективність виробництва м'яса великої рогатої худоби / Ю. В. Кернасюк // Наук. праці Кіровоградського нац. техн. ун – ту. Економічні науки, 2010. – вип. 18. – ч. 1. – с. 207 – 214.
90. Козак В. Земля – багатство і надія України / В. Козак // Винахідник і раціоналізатор. 2009. – № 7. – С. 29.
91. Клавдієнко В. Нетрадиционная энергетика в странах ЕС: экономическое стимулирование развития / В. Клавдієнко, А. Тарасов // Электронный журнал энергосервисной компании // "Экологические системы". – 2007. – № 6. – С. 8 – 11.
92. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (Кіото, 11 грудня 1997 р.) // Кіотський протокол ратифіковано Законом № 1430 – IV від 04.02.2004.

93. Ковалёв А. А. Получение биогаза и перспективы снижения расхода воды в системах утилизации навозных стоков на полях орошения / А. А. Ковалёв, А. А. Ковалёва // Материалы научн. – практ. конф. [«Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства»] / Всерос. научн.-исслед., конструкт. и проект.-технол. ин-т орган. удобрений и торфа. – Владимир, 2006. – С. 91 – 96.
94. Ковалёв Д. А. Концепция повышения производительности биогазовых установок / Д. А. Ковалёв, А. А. Ковалёв // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2006. – Ч. 4. – С. 262 – 266.
95. Коваленко І. Електрика з посліду / І. Коваленко // Експрес. – 2013. – № 3. – С. 3.
96. Клименко М. О. Екологія міських екосистем: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Клименко М. О, Пилипченко Ю. В, Мороз О. С. – Херсон: Олді-Плюс, 2012. – 294 с.
97. Колос Н. Де зберігати гній молочного поголів'я / Наталія Колос // The Ukrainian Farmer. – 2010. – № 11. – С. 88 – 90.
98. Колесник В. М., Бойко А. С. Органічне виробництво як стратегічний напрям розвитку аграрного сектора економіки України / В. М. Колесник, А. С. Бойко // Агросвіт. – 2012. – № 9. – С. 30–33.
99. Комплексная оценка отходов животноводства и их воздействие на экологическое состояние прифермерских ландшафтов / И. С. Болюченко, В. Н. Гукалов, С. Б. Баранова [и др.] // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 84 – 101.
100. Конеченков А. Українське біопаливо: вихід з енергетичного тупика / А. Конеченко // Зелена енергетика. – 2006. – № 2. – С. 9 – 11.
101. Конеченков А. Зелена енергетика проти змін клімату / А. Конеченко // Зелена енергетика. – 2006. – № 2. – С. 25.

102. Конеченков А. Зелена енергетика реальний конкурент мирному атому в енергосекторі України / А. Конеченков // Зелена енергетика. – 2006. – № 2. – С. 4 – 5.
103. Конеченков А. Газова проблема в Україні / А. Конеченков // Зелена енергетика. – 2006. – № 1. – С. 4.
104. Кисіль В. І. Біологічне землеробство в Україні: проблеми і перспективи. – Харків: Штрих, 2000. – 151 с.
105. Коробко Б. П. Енергетика ХХІ століття / Б. П. Коробко // Винахідник і раціоналізатор. – 1999. – № 1 – 2. – С. 3 – 4.
106. Косенко Д. П. Використання біогазу для виробництва тепла й електроенергії методом когенерації / Д. П. Косенко, В. І. Пінчук // Зелена енергетика. – 2003. – № 2. – С. 11.
107. Кравец І. Еволюція свиноферми або біогаз із гною / І. Кравец // Зерно. – 2010. – № 12. – С. 3 – 5.
108. Кравців Р. Й. Екологічні основи фермерських господарств: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Р. Й. Кравців, М. В. Черевко. – Л.: ТеРус, 2006. – 240 с.
109. Кудря С. О. Розвиток відновлюваної енергетики для підвищення енергетичної та екологічної безпеки України / Кудря С. О. // Відновна енергетика ХХІ століття: міжнар. конф., 15 – 19 вересня 2008., Крим. – К.: НТУУ «КГІ», 2008. – С. 19 – 23.
110. Куруленко С. С. Основні напрямки екологічної політики України / С. С. Куруленко // Проблемы Экологии и Эксплуатации объектов Энергетики матер. XVIII междунар. конф., 10 – 14 июня 2008 г. – К.: ИПУ АЛКОН НАН., 2008. С. 21 – 22.
111. Кулаєць М. М. Шляхи інноваційного забезпечення виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції та продуктів харчування / М. М. Кулаєць, М. Ф. Бабієнко, О. Д. Витвицька [та ін.] // Агроінком. – 2011. – № 10 – 11. – С. 55 – 61.

112. Куріс Ю. В. Біоенергетичні установки. Обладнання та технології переробки органовмісних енергоресурсів: підручн. [для наук, інжен. – техн. прац. та фахівців з альтерн. джерел енергії, як навч. посібн. для студ. вищих навч. закл.] / Ю. В. Куріс – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 348 с.
113. Куруленко С. С. Стратегический прогноз изменения климата, оценка его влияния на экономику и жизнедеятельность населения / С. С. Куруленко // Материалы междунар. научн. – практ. конф. [«Инновационная модель экологической системы промышленного района»]. – Санкт – Петербург – Донецк: МАНСБ, 2010. – Т. 15, № 4. – С. 25 – 28.
114. Кухарець С. М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С. М. Кухарець, Г. А. Голуб // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. – 2012 – № 1. Т. 1. – С. 345 – 352.
115. Куценко О. М. Агроєкологія: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. М. Куценко, В. М. Писаренко. – К.: Урожай, 1995. – 256 с.
116. Курочкін В. Утилізація гною як бізнес для ферми / В. Курочкін // Молоко і ферма. – 2011. – № 2. – С. 61–63.
117. Лавренчук В. А. Перспективи використання енергоефективних технологій в агросфері / В. А. Лавренчук // Агросвіт. – 2013. – № 2. – С. 32–36.
118. Лопушняк В. І. Агрохімічні та агроєкологічні аспекти систем удобрення в Західному Лісостепу України: моногр. /В. І. Лопушняк. – Львів: Ліга - Прес, 2015. – 218 с.
119. Лопушняк В. І. Утилізація осаду стічних вод комунальних підприємств з отриманням органічного добрива під енергетичні культури / В. І. Лопушняк, Г. М. Грицуляк // Вісник ВНАУ: агрономія, Вінниця, 2014. – Вип. 5 (82). – С. 188-198.
120. Лісничий В. М., Цаплін Ю. О. Сучасний стан та перспективи розвитку отримання біогазу в Україні: матер. Четвертої міжнар. конф. [«Енергія із

біомаси»], (Київ, 22 – 24 вересня 2008 року) / ІТТФ НАНУ. – К.; 2008. – с. 299 – 300.

121. Ладика В. І. Біоенергетичний потенціал Лісостепової і Поліської зон України та перспективи його використання: [підруч. для науковців, викладачів, аспірантів, слухачів магістратури, студентів] / В. І. Ладика – К.: Університетська книга, 2009. – 304 с.
122. Максішко Л. М., Малик О. Г. Біологічна утилізація шкідливих парникових газів, які входять до складу біогазу, а також сірководню та аміаку у воді асоціацією біологічно корисних мікроорганізмів / Л. М. Максішко, О. Г. Малик // Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 353 – 361.
123. Максішко Л. М. Одержання мінерального добрива при очистці біогазу / Л. М. Максішко // Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2012. – Т. 14, № 2. – С. 110 – 115.
124. Максішко Л. М. Спосіб хемосорбційної очистки біогазу / Л. М. Максішко // Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 386 – 391.
125. Максішко Л. М. Технологический способ улучшения качества биогаза – альтернативного восстанавливаемого заменителя природного газа / Л. М. Максішко // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы III междунар. научн. – практ. конф. / под. общ. ред. С. С. Чернова. – Новосибирск: ЦРНС, 2013. – С. 163.
126. Максішко Л. М. Шляхи покращення екологічної обстановки з використанням енергії сонця, вітру і води, а також біогазу, як альтернативних джерел енергії / Л. М. Максішко // Вісник Львівського

національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 280 – 284.

127. Максишко Л. М. Экологическая роль биоудобрений в сохранении гумуса и предотвращения проникновения инвазии в почву / Л. М. Максишко // Știința Agricolă Nr.1/2015, pp. 28 – 34. ISSN 1857 – 0003.
128. Матвеев Ю. Біогаз як засіб енергетичної незалежності / Ю. Матвеев, П. Кучерук // Зелена енергетика. – 2008. – № 1 (29). – С. 19 – 22.
129. Макаренко Н.А. Екотоксикологічна оцінка біодобрив (продуктів ферментації біогазової установки) на предмет їх відповідності вимогам органічного землеробства / Н.А. Макаренко, В.І. Бондарь, Г.М. Борщ, А.В. Сальнікова // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2014. - № 4. – С. 20 -24.
130. Матвеев Ю. Неатомний сценарій розвитку енергетики України / Ю. Матвеев // Зелена енергетика. – 2006. – № 1. – С. 4 – 7.
131. Махнюк В. М. Вплив виробничих об'єктів свинарства на забруднення навколишнього середовища / В. М. Махнюк, І. С. Кіреєва, О. І. Турос [та ін.]. // Гігієна населених місць. – 2011. – № 57. – С. 11.
132. Метан і парниковий ефект атмосфери / [Сологуб Л. І., Антоняк Г. Л., Влізло В. В. [і ін.]; під ред. Г. О. Богданова. – Л.: ПАІС, 2008. – 276.
133. Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в биологических средах. – М. 1986 г. – 17 с.
134. Михайлов Ю. Нові технології проти глобального потепління / Ю. Михайлов // Пропозиція. – 2011. – № 2. – С. 24 – 26.
135. Мироненко Д. А. У нас біогаз / Д. А. Мироненко – М.: АГРОПРЕСС, 2009. – № 3. – С. 1–3.
136. Морозов Ф. О. «Нафтовий» шок – початок енергетичної кризи / О. Ф. Морозов // Винахідник і раціоналізатор. – 2008. – № 2. – С. 30–33.
137. М'якушко В. К. Сільськогосподарська екологія / В. К. М'якушко, Д. О. Мельничук, Ф. В. Вольвач [і ін.]. – К.: Урожай, 1992. – 216 с.

138. Мкинерни М. Основные принципы ферментации с образованием метана / М. Мкинерни, М. Брайант / кн. Биомасса как источник энергии. – М.: Мир, 1985. – 200 с.
139. Назаренко І. І. Грунтознавство / І. І. Назаренко, С. М. Польчина, В. А. Нікорич – Чернівці: Книги, 2008. – 400 с.
140. Національна система обліку емісії парникових газів землями сільськогосподарського призначення: навч.–метод. посіб. / [О. І. Фурдичко, В. В. Макаренко, О. О. Ракоїд і ін.]; за ред. В. В. Фурдичко – К. : Логос, 2008. – 55 с.
141. Нетрадиционные технологии «Энергетика биоотходов. Термины и определения. ГОСТ Р 52803 – 2007 – [Действующий от 2007 – 27 – 12]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 27 с.
142. Никитин Д. П. Крупные животноводческих комплексы и окружающая среда / Д. П. Никитин. – М.: Медицина, 1980. – 300 с.
143. Нечитайло И. В. Альтернативная технология утилизации отходов жизнедеятельности / И. В. Нечитайло // Екологічна безпека. – 2012. – № 2. – С. 80 – 84.
144. Осмонов О. М. Биогазовая технология и сохранение плодородия почв в Киргизии / О. М. Осмонов // Агроекологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства. – 2006. – С. 116 – 120.
145. Офіційний веб-сайт Головного управління статистики у Львівській області [Електронний ресурс]. – 2015р. Режим доступу: www.lv.ukrstat.gov.ua, 2015.
146. Офіційний сайт NEWSru.ua [Електронний ресурс]. – 2015 р. Режим доступу: [www.newsru.ua/finance/01 apr 2015/povushenie_tarifov.htm](http://www.newsru.ua/finance/01_apr_2015/povushenie_tarifov.htm)
147. Оценка воздействия отходов животноводства на прилегающие к фермам ландшафты методами химического анализа / И. С. Белюченко, С. Б. Баранова, В. Н. Гукалов [и др.] // Экологические проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 3 – 25.

148. Оценка эколого–экономической эффективности переработки и утилизации животноводческих стоков на установках типа «Биогаз»: Аналитический обзор – 15–86 / [Балацкий О. Ф., Семенов И. В., Несветов А. А. и др.] – Х.: ХМТЦ НТИиП, 1986. – 29 с.
149. Панцхава Е.С. Получение биогаза из твёрдого навоза КРС / Е. С. Панцхава, Д. А. Ковалёв // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2006. – Ч. 4. – С. 272 – 276.
150. Пат. 69130 Україна, МПК 10L 5/00, C02F11/04. Лабораторна установка для отримання біогазу / Малик О. Г., Висоцький А. О., Максінко Л. М.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201110242; заявл. 22.08.11; опубл. 25.04.12, Б. № 8.
151. Пат. 77213 U Україна, МПК C05F 3/00. Спосіб одержання рідкого мінерального добрива в процесі очистки біогазу / Максінко Л. М.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201206420; заявл. 28.05.2012; опубл. 11.02.13, Бюл. № 3.
152. Пат. 77073 U Україна, МПК 10L 5/00, C02F11/04. Пристрій для отримання і очищення біогазу з утворенням рідкого мінерального добрива / Максінко Л. М., Максінко М. С.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201208981; заявл. 20.07.12; опубл. 25.01.13, Бюл. № 2.
153. Пат. 81058 U Україна, МПК C02F11/02. Спосіб контрольованої утилізації парникових газів з біогазу з агропромислових відходів / Максінко Л. М.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201212223; заявл. 25.10.12; опубл. 25.06.13, Бюл. № 12.

154. Пат. 82770 Україна, МПК B01D53/04(2006.01). Спосіб хемосорбційної очистки біогазу / Максішко Л. М., Малик О. Г.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201300968; заявл. 28.01.13; опубл. 12.08.13, Бюл. 15.
155. Пат. 82188 U Україна, МПК C10L 5/00, C02F11/00. Лабораторна установка для отримання очищеного біогазу / Максішко Л. М.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 201301275; заявл. 04.02.13; опубл. 25.07.13, Бюл. № 14.
156. Пат. 103525 U Україна, МПК C05F 3/00. Спосіб покращення якості отриманого в процесі очистки біогазу мінерального добрива / Максішко Л. М.; заявник та патентовласник Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – № у 2015 04727; заявл. 15.05.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24.
157. Пат. 8267 A Україна, МПК 5C02F11/04. Біогазогенератор побутовий Дутчака / Дутчак В. І.; заявник та патентовласник Дутчак В. І. – № 94128328; заявл. 26.09.94; опубл. 29.03.96, Бюл. № 5.
158. Пат. 12179 Україна, МПК C02F11/04, C02F3/28. Біогазова установка / Мовсесов Г. Є., Ляшенко О. О.; заявник та патентовласник Мовсесов Г. Є., Ляшенко О. О. – № 200508039; заявл. 15.08.05; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1.
159. Пат. 21546 A Україна, МПК C02F11/04. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200610904; заявл. 16.10.06; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3.
160. Пат. 22239 Україна, МПК C02F11/04. Біогазова установка /Федусь М. Я., Федусь Н. Я.; заявник та патентовласник Федусь М. Я., Федусь Н. Я. – № 200607956; заявл. 14.07.06; опубл. 25.04.07, Бюл. № 5.

161. Пат. 72781 Україна, МПК В01D 53/02. Спосіб вилучення діоксиду вуглецю з біогазів / Радіонов П. Г., Радіонов А. Г. заявник та патентовласник Радіонов П. Г., Радіонов А. Г. – № 201202417; заявл. 29.02.12; опубл. 27.08.12, Бюл. № 16.
162. Пат. 50562 Україна, МПК В01D 53/14. Спосіб очищення біогазу / Ковальчук В. Г., П'ятничко О. І.; заявник та патентовласник Ковальчук В. Г., П'ятничко О. І. – № 201000105; заявл. 11.01.10; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11.
163. Пат. 69935 U Україна, МПК В09В 3/00. Спосіб запобігання утворення парникових газів / Прохоров В. С., Лобойко С. В.; заявник та патентовласник ТОВ Венчурна компанія «Техінвест». – № u 201109970; заявл. 11.08.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
164. Пат. 89972 С 2. Україна, МПК В01D 53/62, А01G 7/02, В01D 53/34. Спосіб утилізації техногенних надлишків діоксиду вуглецю, які втримуються в атмосфері Землі / Булат А. Ф., Кіяшко Ю. І.; заявник та патентовласник Булат А. Ф., Кіяшко Ю. І. – № 20070693 ; заявл. 16.06.2007; опубл. 25.03.2010, Бюл. 6.
165. Пат. 95995 С2 Україна, МПК В01D 53/22, С01В 31/20. Спосіб зменшення викидів парникових газів в атмосферу / Білак Р., Бруно М. С., Розенбург Л. і ін.; заявник та патентовласник Білак Р., Бруно М. С., Розенбург Л. – № 200906919; заявл. 04.12.07; опубл. 26.09.11. Бюл. 18.
166. Пат. 2 286 202 С 1 Российская Федерация, МПК В01D 53/52, В01D 53/62, В01D 53/86, С01В 17/04. Хемосорбційно-каталітичні системи для очистки біогазу / Ланген С. В.; заявник та патентовласник Ланген С. В. – № 2005119127/15; заявл. 02.06.05; опубл. 27.10.06, Бюл. № 30.
167. Пат. 2 368 884 Российская Федерация, МПК G01N 1/22. Лабораторная установка по получению биогаза / Федорова А. П., Никольская А. Н.; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет. – № 2008103044/12; заявл. 28.01.2008; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27.

168. Пат. 2 377 057 С 1 Российская Федерация, МПК В01D 53/52, В01J 10/00. Установка для очистки газа от сероводорода / Сахабутдинов Р. З., Ибатуллин Р. Р., Гарифуллин Р. М. и др.; заявник та патентовласник ОАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина, Моекель Штеффен Роберт, Штейнгольц Залман. – № 2008135590/15; заявл. 02.09.08; опубл. 27.12.09, Бюл. № 36.
169. Пат. 2 460 575 С 1 Российская Федерация, МПК В01D 53/62. Способ разделения биогаза и очистки его составляющих / Кривой Б. А., Луканин А. В., Тахтарова Т. В.; заявник та патентовласник – № 2011110159/05; заявл. 18.03.11; опубл. 10.09.12. Бюл. № 25.
170. Письменна В. На українському порозі – епоха біогазу. / В. Письменна // Аграрний тиждень. – 2013. – № 1. – С. 10.
171. Польовий В. М. Особливості агрохімічної деградації ґрунту залежно від удобрення // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 3. – С. 23 – 25.
172. Про альтернативні види рідкого та газоподібного палива. Закон України від 5.12.2000 // Відомості ВРУ. – 2000. – № 12. – С. 5.
173. Прохоренко К. А. Проблеми принципу «забруднювач платить» у правовому забезпеченні охорони клімату в Україні / Екологічний вісник. – 2012. – № 3. – С. 24 – 25.
174. Прутська О.О. Державне регулювання розвитку ринку біопалива в Україні /О. О. Прутська // Вісник Запорізького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 181.
175. Раїса Вожегова. Клімат змінює технології / Р. Вожегова // Аграрна справа. – 2012. – № 35. – С. 13 – 14.
176. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. – 117 с.
177. Ратушняк Г. С. Еколого–економічна оцінка інноваційних енергозберігаючих проектів біоконверсії / Г. С. Ратушняк,

- О. Г. Ратушняк, К. В. Анохіна // Наук. – техн. збірн. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – 2012. – С. 152 – 154.
178. Ращенко А. В. Особливості формування попиту на сільськогосподарську продукцію в контексті ставлення споживачів до її якості та екологічної безпеки / А. В. Ращенко // Агросвіт. – 2012. – № 22. – С. 30 – 34.
179. Рожко А. О. Перспективи використання відновлюваних джерел енергії в Україні / А. О. Рожко // Енергозбереження. – 2007. – № 2. – С. 25 – 28.
180. Розчинений O_2 . Якість води. Визначення розчиненого кисню, йодометричний метод: ДСТУ ISO 5813 – 2004. (ISO 5813:2004, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – с. – (Національний стандарт України).
181. Рубанов П. М., Шишова Ю. Г. Формування ефективного інструментарію фінансово-економічного механізму раціоналізації природокористування / П.М. Рубанов, Ю. Г. Шишова // Екологія. Людина. Суспільство: зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.–практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 295 – 296.
182. Русак О. Н. Нужны ли экологи инновации ? / О. Н. Русак // Материалы междунар. науч. – практ. конф. [«Инновационная модель экологической системы промышленного района»]. – Донецк: МАНСБ. – 2010. – Т. 15, № 4. – С. 5–6.
183. Рябцева Н. О. Енергетична ефективність застосування органо-мінеральних меліоративних сумішей при вирощуванні хмелю / Н. О. Рябцева, Щудренко І. В // Агропромислове виробництво Полісся: збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 4. – С. 89 – 92.
184. Савченко И. Л. Охрана среды от загрязнения отходами животноводства: [підруч. для науковців, викладачів, аспірантів, слухачів магістратури, студентів] / И. Л. Савченко, В. Н. Благодатний. – К.: Урожай, 1986. – 123 с.

185. Санін В. Ефективність позакореневого підживлення добривами / В. Санін // Пропозиція. – 2011. – № 2. – С. 76 –77.
186. Санін В. Особливості позакореневого підживлення мікроелементами / В. Санін // Пропозиція. – 2012. – № 3. – С. 84 – 86.
187. Сафонов Т.А. Екологічні основи природокористування: [підруч. для викладачів, аспірантів, студентів] / А. Т. Сафонов. – Л.: «Новий світ – 2000», 2003. – 238 с.
188. Сельскохозяйственная экология / Н. А. Уразаев, А. А. Бакулин, А. В. Нікітін [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 304 с.
189. Семененко И. В. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов: пособ. [для студентов, аспирантов, специалистов в области экологии и нетрадиционной энергетики] / И. В. Семененко, М. Г. Зинченко. – Харьков: Учебник НТУ «ХП», 2012. – 272 с.
190. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок: [учебн. для студ. вищ. навч. закл.] / И. В. Семененко – Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мария – 1» ЛТД, 1996. – 347 с.
191. Семененко И. В. Комплексная, экологически чистая и энергосберегающая переработка отходов животноводства с получением органических удобрений и биогаза / И. В. Семененко, Е. А. Выдренко, А. В. Кравец // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: між нар. конф., 31 травня – 1 червня 2001 р., Львів. – л.: ЛВЦНТЕІ, С. 225 – 229.
192. Семененко І. Біогазова галузь в Україні: експериментально – пілотна стадія з орієнтацією на ліцензії?/І. Семененко, В. Кравець, І. Чеборат, Н. Кравець //Пропозиція. – 2004. – № 4. – с. 22 – 23.
193. Серебрянский Д. М., Новицька Н. В. Семантичний аналіз терміна «Збір за забруднення навколишнього природного середовища» / Д. М. Серебрянский, Н. В. Новицька // Удосконалення економічних інструментів природокористування та екологічної безпеки: Бібліотека ВЕЛ. – 2010. – № 1. – С. 24 – 27.

194. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології / Ю. І. Сидоров // *Biotechnologia acta*, v. 6, no1, 2013. [Електронний ресурс].- Режим доступу:http://biot_2013_6_1_6.pdf
195. Скорук О. П. Альтернативна енергетика України: перспективи розвитку / О. П. Скорук // *Економіка АПК*. – 2012. – № 9. – С. 28 – 32.
196. Славов В. П. Зооекологія: підруч. [для викладачів, студ. вищ. навч. закл.] / В. П. Славов, М. П. Високос. – К.: Аграрна наука, 1997. – 375 с.
197. Смирнов О. П. Энергосбережение и экология. Перспективы развития производства биогаза в Украине. — eneco.com.ua/library/7/52/
198. Снітинський В. В. Проблеми та перспективи впровадження нетрадиційних джерел енергії / В. В. Снітинський, О. Т. Мазурак, С. В. Зубик, Т. М. Лозовицька, Л. В. Андрейко // *Екологічні, технологічні та соціально-економічні аспекти ефективного використання матеріально-технічної бази АПК : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, 17-18 вересня 2008 р. – Львів : ЛНАУ, 2008. – С. 9–15.*
199. Снітинський В. В. Регіональні аспекти екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва / В. В. Снітинський, О. Д. Зинюк // *Теорія і практика розвитку АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму. – Львів : ЛДАУ, 2006. – Т. 1. – С. 3–7.*
200. Сургай С. Р. Виробництво альтернативного рідкого палива в процесі утилізації осадів біомула очисних споруд / С. Р. Сургай // *Винахідник і раціоналізатор. – 2010. – № 3. – С. 9–11.*
201. Тараріко Ю. О. Біоенергетичне аграрне виробництво в Лісостепу України / Ю. О. Тараріко // *Вісник аграрної науки. – 2011. – № 7. – С. 9 – 14.*
202. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр ; [пер. с англ.] – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
203. Топольний С. Про причини низької врожайності в Україні / С. Топольний // *Пропозиція – 2012. – № 3. – С. 62 – 64.*

204. Ткаченко С. Й. Біоконверсія органічних відходів АПК та екологічно збалансовані технології / С. Й. Ткаченко, Є. П. Ларюшкін, Д. В. Степанов // Екологічний вісник. – 2002. – № 5 – 6. – С. 6–7.
205. Третьак Н. Альтернативні джерела енергії – майбутнє розвитку економіки України / Н. Третьак, Г. Кірейцев // Техніка і технології АПК. – 2010. - № 5 (8) травень. – С. 19 – 21.
206. Турук Ю. Г. Переваги та недоліки переробки гною в біогаз / Ю. Г. Турук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 141.– С. 357–361.
207. Удобрения органические. Метод определения рН: ГОСТ 27979 – 88. – [Введ. 01-01-90]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – С. 1.
208. Удобрения органические. Методы анализа. Метод определения влаги и сухого остатка: ГОСТ 26718 – 85. – [Введ. 01–01–87]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – С. 1.
209. Удобрения органические. Методы определения органического вещества: ГОСТ 27980 – 89. – [Введ. 01–01–90]. – М.: Изд-во стандартов, 1989.– С. 1.
210. Удобрения органические. Методы определения общего азота: ГОСТ 26715 – 85. – [Введ. 01–01–87]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 9.
211. Удобрения органические. Методы определения аммонийного азота: ГОСТ 26716 – 85. – [Введ. 01–01–87]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 21.
212. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора: ГОСТ 26717 – 85. – [Введ. 01–01–87]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 29.
213. Удобрения органические. Метод определения общего калия: ГОСТ 26718 – 85. – [Введ. 01–01–87]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 35.
214. Умаров С. Органічні добрива є на вашому полі ! / С. Умаров // Пропозиція. – 2012. – № 7 . – С. – 40 – 41.

215. Федоренко В. Ф. Биоэнергетика в решении экологических аспектов технологической модернизации АПК / В. Ф. Федоренко // Экология и сельскохозяйственная техника. – 2007. – Т. 1. – С. 81 – 88.
216. Хвесик М. А. Екологізація розвитку продуктивних сил України в умовах глобальних викликів / М. А. Хвесик // Удосконалення економічних інструментів природокористування та екологічної безпеки: Бібліотека ВЕЛ. – 2010. – № 1. – С. 2 – 5.
217. Хмілляр А. Екологічні проблеми України / А. Хмілляр // Екологія – Право – Людина. – 2011. – № 11 – 12. – С. 6 – 117.
218. Чеславский В. Ф. Энергосберегающие технологии. Реальные возможности энергетики / В. Ф. Чеславский // Винахідник і раціоналізатор. – 2006. – № 3. – С.14 – 16.
219. Шевченко І.А. Сучасні аспекти утилізації гною свиней / А.В. Шевченко, О.О Ляшенко, Г. В Мазур // Прибуткове свинарство. – 2012. – № 5. – С. 36 – 40.
220. Шувар І.А. Екологічні основи збалансованого природокористування: навч. посіб. / І. А. Шувар, В. В. Снітинський, В. В. Бальковський. Чернівці: Книги-XXI. – 2011. – 760 с.
221. Шацький В.В Виробництво біогазу в сільському господарстві України / В. В. Шацький, Г. Э.Мовсеєв, В. М. Павліченко // Наук. вісн. Націон. аграрн. ун-ту, 2004. – № 73, част. 1. – С. 104–107.
222. Шило С. В. Розвиток сільського господарства в контексті екологічних проблем / Агроінком. – 2011. – № 10 –12. – С. 52 – 54.
223. Шицкова А. П. Методы исследования качества воды водоемов / Шицкова А. П. – М.: Медицина. – 1990. – 114 с. – (Метод определения сероводорода).
224. Шлапак В. О. Про вирощування екологічно чистої овочевої продукції в Україні// Матер. наук.–практ. семінару «Сучасні тенденції виробництва та маркетингу органічної продукції. – Львів, 2004. – с.30 – 33.

225. Якість води. Визначення рН: ДСТУ 4077 – 2001. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – с. – (Національний стандарт України).
226. Якушко С. І. Установка комплексної переробки органічних відходів за енергозберігаючою технологією/ С. І. Якушко, С. М. Яхненко // Вісник «СумДУ». – Суми. – 2006. – № 12 [96]. – с. 81 – 84.
227. Янковський Н. А., Макогон Ю. В., Рябчин А. М., Губатенко Н. И. Альтернативы природному газу в Украине в условиях Энерго-и ресурсодефицита: промышленные технологии: Монография / под. ред. Ю. В. Макогона. – Донецк: ДОННУ, 2011, – 247 с.
228. Яремська Л. П. Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. / Л. П. Яремська // Цель программы по энергобезпеке Беларусь: XVIII междунар. конф., 10 – 14 июня 2008 г. – К.: ИПУ АЛКОН НАН., 2008. С. 20 – 25.
229. Якість води. Визначення рН: ДСТУ 4077 – 2001. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – с. – (Національний стандарт України).
230. Assessment of Energy Related Risks / Ukraine and the world Economy: Risks Assessment und Policy Recommendations. – К.: Institute for Economic Reserarch und Policy Consulting. – 2002. – P. 28 – 48
231. Basarab J. A. Methane emissions from enteric fermentation in Alberta's beef cattle population / I.A.Basarab, E.K. Okine, V.S. Baron [et al.] // Can. J. Anim. Sci. – 2006. – Vol. 85. – № 5. – P. 501–512.
232. Buman T. J. Technologies for efficient manure utilization and nutrient management / T. J. Buman, J. Ridgely, M. K. Walsh // Proc. 3-th International Methane and Nitrous Oxide mitigation Conference. China, 17–21.11.2003. – 2003. – P. 402–414.
233. Beller H. R. Anaerobic toluene activation by be benzulsuccinate synthase in a highly enriched methanogenic culture / H. R. Beller, E. A. Edwards // Appl. Environ. Microbiol. – 2000. – Vol. 66. – P. 3503–3505.

234. Black M. I. Survival rates of parasite eggs in sludge during aerobic and anaerobic digestion / M. I. Black, P. V. Scarpino, C. J. O'Donnell, K. B. Meyer, J. V. Jones, E. S. Kane-shiro // *Applied and environmental microbiology* – 1982. – № 44 (5). – P. 1138 – 1143.
235. Barker H. A. Biological formation of methane bacterial fermentation / H. A. Barker. – New York, 1956.
236. Czerewko G. Chances and challenges of biofuel production development in Ukraine in the context of agriindustrial complex competitiveness / G. Czerewko, W. Snitynskyj, O. Krupych, W. Kowaliw, D. Czerewko // TEKA. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin : Polish academy of sciences branch in Lublin, 2008. – Vol. VIII. – P. 43–49.
237. Fischer I. R. Production of methane gas from combination of wheat straw and swine manure / I. R. Fischer // *Trans. ASAE*. – 1983. – Vol. 26. – P. 546 – 548.
238. Fragile A. Repriere on energy / A. Fragile // *Business Week*. – 2003. – October 6. – P. 34 – 35.
239. Hashimoto A. G. Methane from swine manure: Effect of temperature, hydraulic retention time and influent substrate concentration of kinetic parameter (K) / A. G. Hashimoto // *Biotechnol. Bioeng.* – 1982. – Vol. 24. – P. 2039 – 2052.
240. Gale J. Reducing methane emissions to combat global climate change: the role Russia can play fermentation / J. Gale, P. Freund // *Proc. 2-nd Internat. Conf. «Methane Mitigation»*. Novosibirsk, 18–23. 06. 2000. – 2000. – P.73–80.
241. Hao X. Carbon, nitrogen balance and green gas emission during cattle feedlot manure composting / X. Hao, C. Chang, F. J. Larney // *J. Environ. Qual.* – 2004. Vol. 33. – P. 37 – 44.

242. Honcharuk I. V. Enterprising within the framework of production and formation of the market of biofuel / I. V. Honcharuk // *Економіка АПК : міжн. наук–виробн, журн.* – 2013. – N 10. – С 131–134.
243. Kebread E. Methane and nitrous oxide emission from canadians animal agriculture: A review / E. Kebread, K. Clarc, C. Wagner-Riddle, J. France // *Can. J. Anim. Sci.* – 2006. – Vol. 86. – P. 135–158.
244. Kettunen R. H. The effect of low temperature (5–29 degrees C) and adaptation on the metanogenic activity of biomass / R. H. Kettunen, J. A. Rintala // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1997. – Vol. 48. – № 4. – P. 570–576.
245. Kleerebezem R. Anaerobic degradation of phthalate isomers by methanogenic consortia / R. Kleerebezem, P. L. W. Hulshoff, G. Lettinga // *App. Environ. Microbiol.* – 1999/ - Vol. 65. – № 3. – P. 1152–1160.
246. Marinier M. Determining manure management practices for major domestic animals in Canada / M. Marinier, K. Clarc, C. Wagner-Riddle // *Environment Canada's Greenhouse Gas Inventoru Project.* Environment Canada. Ottawa. ON. – 2004.
248. McCarty P. L. Anaerobic wastewater treatment fundamentals / P. L. McCarty // *Pablic Works*, 1964. –S. 3.
249. Helgason B. L. Toward improvedcoefficients for predicting direct N₂O emissions from soil in Canadian agroecosystems / B. L. Helgason [et al.] // *Nutr. Cycl. Agrocosyst.* – 2005. – Vol. 72. – P. 87–99.
250. Plumb J. J. Populations associated with treatment of an industrial dye effluent in an anaerobic baffled reactor / J. J. Plumb, J. Bell, D. C. Stuckey // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2001. – Vol. 67. – P. 3226–3235.
251. Saggat S. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm fluent application in grazed pastures / S. Saggat, N. S. Bolan, R. Bhandral [et al.] // *N.Z.J. Agric. Res.* – 2004, b. – Vol. 47. – P. 513–544.

252. Saggar S. A. Simulation of nitrous oxide emissions from New Zealand dairy – grazed pastures and its mitigation strategies / S. A. Saggar, R. M. Tate [et al.] // Proc. 3-th International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference. China, 17 – 21. 11. 2003. – 2003. – P. 461–468.
253. Terada F. Global warming and animal agriculture in Japan / F. Terada // 1-st Internat. Conf. “Greenhouse Gases and Animal Agriculture”. Obihiro (Japan), 7–11.11.2001. – 2001.
254. Thompson A. G. Emissions of N₂O and CH₃ during the composting of liquid swine manure / A. G. Thompson, C. Wagner–Riddle, R. Fleming // Environ. Monit. Assess. – 2004. – Vol. 91. – P. 87 – 104.
255. U.S. Initiative for Joint Implementation (1996) Activities Implemented Jointly: first report to the secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, submitted by the Government of United States, July 1996, Washington //BMTW/ – 1996. – S.151.
256. Velthof G. L. Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets / G. L. Velthof., J. A. Nelemans, O. Oenema, P. J. Kuikman // J. Environ. Qual. – Environ. Qual. – 2005. Vol. 34. – P. 698–706.
257. Wu J. H., Liu W. T., Tseng I. Ch., Cheng S.–S. Characterization of microbial consortia in a terephthalate–degrading anaerobic granular sludge system / J. H. Wu, W. T Liu, I.Ch. Tseng [et al.] // Microbiology. – 2001. Vol. 147. – P. 373–382.

ДОДАТКИ

Додаток А

Рисунки й таблиці до розділу 3



Рис. А.3.1. Посіви кукурудзи на зелену масу на 30-у добу після сходів (на передньому плані – контроль без удобрення).



Рис. А.3.2. Дослідні рослини на 60-у дубу вегетації



Рис. А.3.3. Дослідні рослини на час збору врожаю зеленої маси



Рис. А.3.4. Дослідні рослини редиски у перший тиждень після сходів



Рис. А.3.5. Варіант 1. (контроль – без добрив)



Рис. А.3.6 Варіант 2. (добриво в нормі 6 т/га)



Рис. А.3.7. Варіант 3. (добриво в нормі 10 т/га)



Рис. А.3.8. Варіант 4. (добриво в нормі 17 т/га)



Рис. А.3.9. Варіант 5. (добриво в нормі 20 т/га)



Рис. А.3.10. Варіант 6. (добриво в нормі 23 т/га)



Рис. А.3.11. Дослідні рослини у третій тиждень вегетації



Рис. А.3.12. Відмінність у величині коренеплодів за різних норм удобрення.

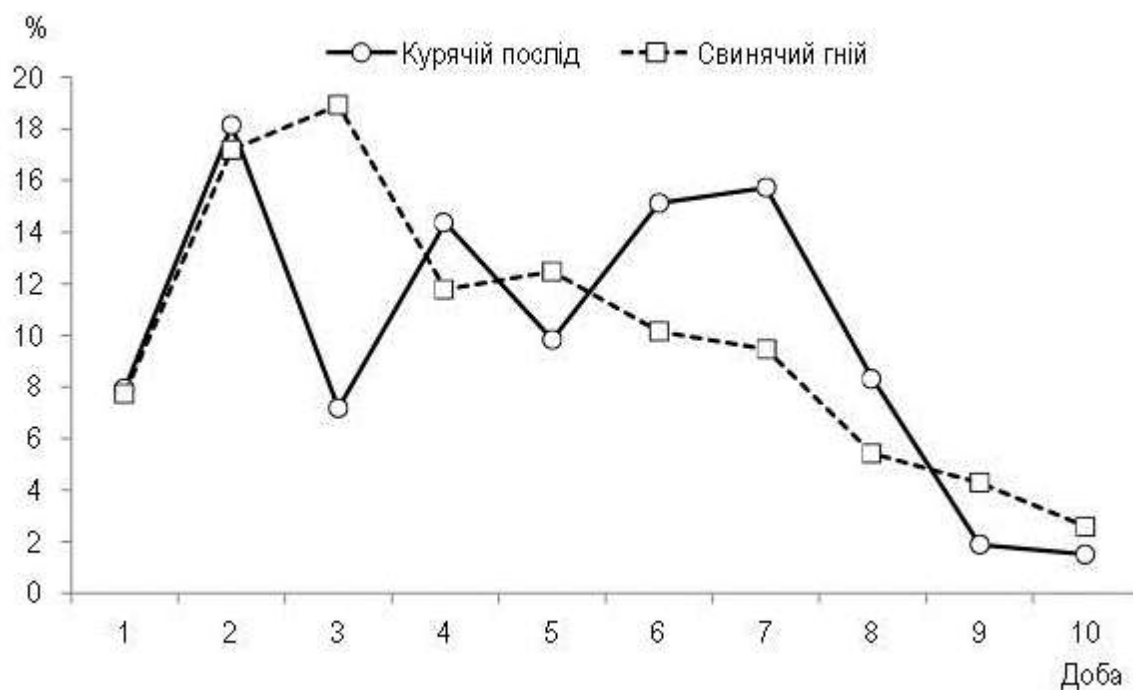


Рис. А.3.13. Динаміка виходу біогазу із курячого посліду та свиначого гною в добах протягом усього циклу бродіння (мезофільний температурний режим).

Таблиця А.3.1

**Подобова кінетика виходу біогазу з курячого посліду і свинячого гною,
см³**

Тривалість бродіння, доба	Об'єм біогазу	
	із курячого посліду, %	із свинячого гною, %
1	7,94	7,74
2	18,14	17,19
3	7,18	18,92
4	14,36	11,78
5	9,83	12,47
6	15,12	10,15
7	15,72	9,46
8	8,31	5,42
9	1,89	4,29
10	1,51	2,58
Сумарний	100	100

Таблиця А.3.2

**Зміни хімічного складу води, залежно від тривалості проходження
через неї біогазу з курячого посліду**

Хімічні показники, мг/дм ³	Контроль (кип'ячена вода)	5-добове проходження біогазу	10-добове проходження біогазу
Гідрокарбонати (HCO ₃ ²⁻)	273,4±0,1	283,1±2,3*	239,2±3,3***
Вільна СО ₂	13,0±0,1	532,4±5,5***	1200±32***
Сірководень (H ₂ S)	0,29±0,02	2,1±0,1***	3,12±0,08***
Іони амонію (NH ₃ ⁺)	0,53±0,01	2,59±0,23***	20,8±0,5***
N- NH ₄	0,41±0,006	2,01±0,17***	16,18±0,38***

Примітка: зірочками позначено статистично вірогідні різниці у показниках добрив утворених при очистці біогазу з курячого посліду водою на протязі 5 і 10 діб в порівнянні до перевареної води: P < 0,05 – *, P < 0,01 – **; P < 0,001 – ***

Таблиця А.3.3

**Швидкість утилізації парникових газів, як компонентів біогазу, у воді
очисного пристрою бактеріями, які були занесені туди біогазом**

Показник	Вміст речовин і газів у воді			
	0	1 доба	3 доба	6 доба
pH	5,81±0,03	5,98 ±0,02**	6,20 ±0,04**	7,12 ±0,02***
Вміст розчиненого O ₂ мг/дм ³	3,71 ± 0,02	2,30 ±0,01***	2,31 ± 0,01	6,41 ±0,02***
Вміст CO ₂ , мг/д	465,2±1,3	265,8 ±0,8***	157,8 ±0,3***	29,1 ±0,4***
Вміст фосфатів (PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	0,168 ±0,006	0,114 ±0,001***	0,025 ±0,002***	0,01 ±0,0004***
Вміст амоніаку і іонів NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	2,67±0,01	1,57 ±0,03***	0,658 ±0,002***	0,05 ±0,04***
перерахунок на N, мг/дм ³	2,075 ±0,007	1,22 ±0,01	0,51 ±0,01***	0,04 ±0,02***
Вміст сульфатів (SO ₄ ²⁻), мг/дм ³	16,1±0,016	17,67 ±0,064***	16,94 ±0,08**	–
Вміст сірководню і сульфідів, мг/дм ³	3,16±0,017	2,05 ±0,0006***	1,2 ±0,006***	–

– P≤0,01; * – P≤0,001 стосовно до попереднього дослідю

Таблиця А.3.4

Співвідношення CH_4 : CO_2 (%) у біогазі за різних способів очистки.

Сировина	Способи очистки біогазу		
	водою	хемосорбційний	очистка з використанням технологічних прийомів
Гній свиней	67 : 33	97 : 3	87 : 13
Послід курей	60 : 40	95 : 5	80 : 20

Таблиця А.3.5

Порівняння технологічних показників способів очищення біогазу

Показник	Переваги пропозиції в порівнянні з прототипами			
	пропозиція	аналог (приклад 1)	аналог (приклад 2)	аналог (приклад 3)
	Хемосорбційна очистка біогазу ПУ № 82770 (Максішко Л.М., Малик О.Г.).	Спосіб вилучення діоксиду вуглецю з біогазів ПУ № 72781 (Радіонов П.Г., Радіонов А.Г.).	Спосіб очищення біогазу ПУ № 50562 (Ковальчук В.Г., П'ятничко О.І.).	Спосіб попередньої очистки біогазу в біогазових установках безперервної дії ПУ № 43780 (Войтович І.Г.).
Очистка від газів: CO ₂ , H ₂ S, NH ₃	Від CO ₂ , H ₂ S, NH ₃ до очищеного біометану (CH ₄)	Розділення CH ₄ :CO ₂	очищають газ тільки від CO ₂ і H ₂ S.	очищають газ тільки від CO ₂
Застосований хемосорбент для очистки (його вартість)	Кринична (дощова) вода. В умовах забрудненої атмосфери відбирається дощова вода після деякого випадіння дощу.	Водопровідна вода з температурою 3–4°C, охолодженою в холодильному агрегаті. Метан, що виділився відбирають. Тоді розчин насичений CO ₂ , подають в другу ємність, в якій активно перемішують його і відбирають CO ₂ , який виділився.	Застосовують абсорбент - метилдіетаноламін (69 грн/кг).	Органічні відходи направляють не в основний реактор, а в камеру попередньої очистки біогазу від його негорючої частини. Ці відходи зберігають в камері попередньої очистки доки біогаз, що там утворюється не почне горіти.
Співвідношення CH ₄ :CO ₂ після очистки	Після очистки водою 70:30%, а після водою і хемосорбентами 95–97% : 3–5%	Після очистки водою 70:30% на 1 м ³ біогазу	Після очистки метилдіетаноламіном 97%:3%	Після камери попередньої очистки 80:20%
Екологічні особливості способу	Вода після очистки біогазу, при досягненні концентрації азоту 16,4–20,5%, використовується як рідке мінеральне добриво для підживлення рослин. Вода насичується цінними корисними елементами внаслідок розчинення газів CO ₂ , H ₂ S, NH ₃ у воді з утворення NH ₄ OH, наявності CO ₂ у вільній і розчиненій формі і вільного H ₂ S, з можливістю збільшення концентрації у воді цих корисних елементів (завдяки пропусканню через воду біогазу кількох циклів бродіння, що починаються із закладання свіжого гною на бродіння. Після очистки водою біогаз проходить очистку через концентровану H ₂ SO ₄ , яка зв'язує NH ₃ з утворенням (NH ₄) ₂ SO ₄ та 10% розчину NaOH з утворенням Na ₂ CO ₃ . Отже, запропонований спосіб очистки є екологічно–безпечний при якому продукти очистки біогазу не потрібно знешкоджувати чи створювати спеціальні умови для зберігання і вони є цінними добривами.	Воду після очистки біогазу зливають і видаляють.	Регенерацію абсорбенту здійснюють нагріванням його та відпрацюванням поглинутих газів. Після десорбції газ, що виходить з конденсату містить 99% CO ₂ , який може бути використаний як товарний продукт після відповідного очищення від H ₂ S.	Негорючий газ, що виділяється з камери попередньої очистки на початку ферментації, поки утворений біогаз не почне горіти, випускають в атмосферу, а це спричинить до її забруднення.

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор Львівського національного
університету ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З.Гжицького
проф. Кирилів Я.І.



АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача Максимшко Лесі Михайлівни на тему « Удосконалення екологічно-безпечної анаеробної переробки гною та використання органічного шламу як добрива » на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 - екологія.

Комісія в складі директора НВФ «ІСТО» Винника Я.В., інженера Ковалю М.В., доцента кафедри екології та біології Сухорської О.П. розглянули матеріали впровадження результатів дисертаційного дослідження Максимшко Л.М. на тему: «Удосконалення екологічно-безпечної анаеробної переробки гною та використання органічного шламу як добрива»

Результати наукових досліджень Максимшко Л.М., були впроваджені в технологічний процес роботи біогазової установки БГФ - 40, що сприяло одержанню з біогазу очищеного метану – біометану, утилізації супутніх парникових газів з біогазу, здійсненню переробки органічних відходів (гною) з одержанням цінних органічних добрив.

Для цього було розроблено і застосовано:

1. пристрій для одержання і очищення біогазу з утворенням рідкого мінерального добрива (ПУ на к. м. № 77073)
2. принцип роботи пристрою для видалення повітря з резервуара-генератора лабораторної біогазової установки, яке потрапляє в резервуар-генератор в процесі закладання біомаси (ПУ на к. м. №82188)
3. спосіб хемосорбційної очистки біогазу (ПУ на к. м. № 82770)
4. спосіб одержання рідкого мінерального добрива в процесі очистки біогазу (ПУ на к. м. №77213)
5. спосіб контрольованої утилізації парникових газів біогазу з агропромислових відходів (ПУ на к. м. № 81058)

Екологобезпечна характеристика очистки біогазу визначалася одержанням очищеного горючого газу біометану і ліквідацією по ходу очистки усіх супутніх шкідливих парникових газів, шляхом сорбції з утворенням кінцевих корисних продуктів: при очистці біогазу водою рідкого мінерального добрива з концентрації амонію 20-25% (із вмістом азоту не менше 16,5-20,5%) (ПУ на к.м № 77213), при очистці біогазу від вуглекислого газу в 10% водному розчині їдкого натрію – соди і при очистці біогазу від аміаку в концентрованій сірчаній кислоті – сульфату амонію (ПУ на к. м. № 82770). Кількість метану після хемосорбційної очистки біогазу вдвічі вища, ніж до очистки і становила 95-98%. А це означає, що теплота згорання очищеного біогазу відповідає теплоті згорання природного газу. На відміну очистка біогазу водою є найдешевшим способом очистки, але такий спосіб не забезпечує повної очистки біогазу. Кількість метану по відношенню до вуглекислого газу після використання пристрою для видалення повітря з резервуару становила 70 до 30%, тобто була на 20% більшою (ПУ на к. м. №82188).

Від компанії НВФ «ІСТО»:
Головний інженер
Головний бухгалтер
Від Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені
С.З. Гжицького:
Доцент кафедри екології та біології
Здобувач



М.В. Коваль
Н.І. Пірогова

О.П. Сухорська
Л.М. Максимшко

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор Львівського національного
університету ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З.Гжицького
к. б. в. Турко І. Б.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор компанії ТзОВ «БІТ»
Філіпова С.І.
« 31 » 2016 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача Максіншко Лесі Михайлівни на тему «Екобезпечні технології анаеробної переробки й утилізації відходів свинарства і птахівництва» на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія.

Комісія в складі директора ТзОВ «БІТ» Філіпова С.І., інженера Ковалю М.В., доцента кафедри екології та біології Сухорської О.П. розглянули матеріали впровадження результатів дисертаційного дослідження Максіншко Л.М. на тему: «Екобезпечні технології анаеробної переробки й утилізації відходів свинарства і птахівництва».

Результати наукових досліджень Максіншко Л.М., були впроваджені в процес виробництва біодобрив для вирощування екологічно чистої продукції, що сприяло здійсненню переробки органічних відходів (гною) з отриманням цінних органічних та мінеральних добрив, отриманню з біогазу очищеного метану – біометану, утилізації супутніх парникових газів з біогазу. Для цього було розроблено і застосовано:

1. пристрій для отримання і очищення біогазу з утворенням рідкого мінерального добрива (ПУ на к. м. № 77073)
2. принцип роботи пристрою для видалення повітря з резервуара-генератора лабораторної біогазової установки, яке потрапляє в резервуар-генератор в процесі закладання біомаси (ПУ на к. м. №82188)
3. спосіб хемосорбційної очистки біогазу (ПУ на к. м. № 82770)
4. спосіб отримання рідкого мінерального добрива в процесі очистки біогазу (ПУ на к. м. №77213)
5. спосіб контрольованої утилізації парникових газів біогазу з агропромислових відходів (ПУ на к. м. № 81058)

Екологічно безпечна характеристика очистки біогазу визначалася отриманням очищеного горючого газу біометану і ліквідацією по ходу очистки усіх супутніх шкідливих парникових газів, шляхом сорбції з утворенням кінцевих корисних продуктів: при очистці біогазу водою рідкого мінерального добрива з концентрації амонію 20-25% (із вмістом азоту не менше 16,5-20,5%) (ПУ на к.м № 77213), при очистці біогазу від вуглекислого газу в 10% водному розчині їдкого натрію – соди і при очистці біогазу від аміаку в концентрованій сірчаній кислоті – сульфату амонію (ПУ на к. м. № 82770). Кількість метану після хемосорбційної очистки біогазу вдвічі вища, ніж до очистки і становила 95-98%. А це означає, що теплота згорання очищеного біогазу відповідає теплоті згорання природного газу. На відміну очистка біогазу водою є найдешевшим способом очистки, але такий спосіб не забезпечує повної очистки біогазу. Кількість метану по відношенню до вуглекислого газу після використання пристрою для видалення повітря з резервуару становила 70 до 30%, тобто була на 20% більшою (ПУ на к. м. №82188).

Від компанії ТзОВ «БІТ»:

Головний інженер
Головний бухгалтер
Від Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені
С.З. Гжицького:
Доцент кафедри екології та біології
Здобувач

М.В. Коваль
Я.Р. Домкович

О.П. Сухорська
Л.М. Максіншко

ДОВІДКА

про використання у навчальному процесі

Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
результатів дисертаційних досліджень та розробок Максінко Лесі Михайлівни на
тему: «Удосконалення екологічно-безпечної технології анаеробної переробки гною та
використання органічного шламу як добрива»

Основні положення та результати дисертаційного дослідження Максінко Лесі Михайлівни на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук впроваджені у навчальний процес Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка та застосовуються при підготовці студентів базового напрямку підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та спеціальностей 6.070800 «Екологія та охорона навколишнього середовища», 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища» та 8.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища», при викладанні дисциплін «Агроєкологія», «Загальна екологія», «Екологічна безпека», «Екологічна експертиза», «Екологічні основи сталого розвитку», «Загальне землезнавство», «Основи екології», «Охорона і раціональне використання водних та земельних ресурсів», «Природоохоронні технології», «Техноєкологія», «Управління та поводження з відходами», «Утилізація побутових і промислових відходів».

Зокрема у навчальний процес впроваджено запропоновані Максінко Л.М.:

1. Лабораторну установку для отримання біогазу (ПУ на к. м. № 69130)
2. Спосіб одержання рідкого мінерального добрива в процесі очистки біогазу (ПУ на к. м. №77213)
3. Пристрій для отримання і очищення біогазу з утворенням рідкого мінерального добрива (ПУ на к. м. № 77073)
4. Спосіб контрольованої утилізації парникових газів біогазу з агропромислових відходів (ПУ на к. м. № 81058)
5. Лабораторну установку для отримання очищеного біогазу (ПУ на к. м. №82188)
6. Спосіб хемосорбційної очистки біогазу (ПУ на к. м. № 82770)

Проректор з науково-педагогічної роботи,
канд. ф. м. наук, доцент

В.Л. Шаран

Завідувач кафедри екології та географії
докт. с.-г. наук, професор

А.Г. Дзюбайло

