

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
професорка ВОЛКОВА Вікторія Євгеніївна
«_____» _____ 2026 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»
на тему: «Удосконалення біотехнологічної лінії утилізації відходів
тваринництва в товаристві з обмеженою відповідальністю Молочно-
виробничий комплекс “Єкатеринославський”»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ТЗНС-1-22
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
спеціальності – 183 (G2) «Технології
захисту навколишнього середовища»
освітньої програми – «Технології захисту
навколишнього середовища»

_____ Кіпін В. М _____

(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник _____ Гапич Г. В. _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Водогосподарської інженерії та екології

Кафедра: Цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність: 183 (G2) «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
професорка ВОЛКОВА Вікторія Євгенівна
«_____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Кіпін Віталій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Удосконалення біотехнологічної лінії утилізації відходів тваринництва в товаристві з обмеженою відповідальністю Молочно-виробничий комплекс "Єкатеринославський"

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Гапін Геннадій Васильович

затверджений наказом по університету від «12» березня 2026 р. № 515

1. Термін здачі здобувачем закінченої роботи : «_____» _____ 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи: Технологічні показники генерації тваринницьких відходів (гній ВРХ, стічні води) на ТОВ «Молочно-виробничий комплекс "Єкатеринославський"». Технічні характеристики діючої біотехнологічної лінії та біогазової установки (об'єми метантенків, температурні режими, стабільність генерації біогазу). Результати лабораторних досліджень анаеробного зброджування біомаси та виходу метану.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити): Вступ. Обґрунтування актуальності теми в контексті декарбонізації АПК. 1) Теоретичні засади біотехнологічної утилізації відходів тваринництва. 2) Еколого-технологічний аналіз процесу

утилізації відходів на МВК «Єкатеринославський». Оцінка обсягів утворення відходів, аналіз стабільності роботи та ефективності існуючої біогазової установки. 3) Інженерно-технологічні рішення з удосконалення біотехнологічної лінії. Розрахунок матеріального та енергетичного балансу модернізованої лінії. Оцінка збільшення генерації біогазу, виробництва енергії та отримання дигестату. 4) Оцінка екологічної безпеки та нормативно-управлінські механізми. 5) Охорона праці. Висновки. Перелік джерел посилання.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Апаратурно-технологічна схема існуючої лінії утилізації відходів на МВК. Графіки порівняльного аналізу стабільності та обсягів генерації енергії до і після модернізації. Принципова технологічна схема вдосконаленої біотехнологічної лінії (з метантенками та системою сепарації дигестату). Креслення загального вигляду та конструктивних особливостей модернізованого реактора (метантенка). Схема просторової організації та логістики потоків біомаси на території комплексу.

5. Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	09.04-10.04.26 р.	
2	Ознайомлення з методами утилізації та раціонального використання біовідходів на підприємстві	16.04-18.04.26 р.	
3	Особливості технології утилізації відходів тваринницьких комплексів	21.04.-23.04.26 р.	
4	Робота біогазової установки	05.05-08.05.26 р.	
5	Розрахунок виходу біогазу, генерації електричної та теплової енергії	11.05-13.05.26 р.	
6	Охорона праці та навколишнього середовища	18.05-19.05.26 р.	
7	Тепловий розрахунок системи	25.05-27.05.26 р.	

Здобувач вищої освіти

Кіпін В. М.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Гапич Г. В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. ТЕХНОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА “ЄКАТЕРИНОСЛАВСЬКИЙ”.....	7
1.1 Загальна характеристика МВК (поголів'я, тип утримання тварин, раціон годівлі).....	7
1.2 Оцінка існуючої системи гноєвидалення та утилізації відходів на комплексі.....	8
1.3 Розрахунок добового та річного виходу екскрементів і стічних вод.....	9
1.4 Аналіз екологічного навантаження підприємства на навколишнє середовище.....	11
2. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МЕТОДАМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТА РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОВІДХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	15
2.1 Теоретичні основи та загальні положення біотехнологічної утилізації органічних відходів АПК.....	15
2.2 Технологічні чинники керування процесами біоконверсії.....	16
2.3 Екологічний та ресурсний ефект біоутилізації.....	17
2.4 Вплив процесів біотехнологічної утилізації відходів тваринництва на стан гідросфери та атмосферного повітря.....	18
2.4.1 Оптимізація екологічного стану та якісних показників природних вод.....	18
2.4.2 Зниження антропогенного навантаження на атмосферне повітря та кліматичну систему.....	19
3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ.....	23
3.1 Біологічні методи.....	23
3.2 Фізико-механічний метод (Попередня підготовка та розділення).....	24
3.3 Термічні методи.....	24
4. РОБОТА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.....	26
4.1 Обґрунтування та розрахунок параметрів основного технологічного обладнання (метантенків, газгольдерів, сепараторів, мішалок).....	26
4.2 Розрахунок об'єму метантенка.....	34
4.3 Розрахунок газгольдера та виходу біогазу.....	35
4.4 Розрахунок сепаратора та мішалок метантенка.....	36
4.5 Розрахунок накопичувача дигестату.....	37

5. РОЗРАХУНОК ВИХОДУ БІОГАЗУ, ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ.....	38
5.1 Розрахунок добового та річного виходу біогазу й метану в ньому.....	38
5.2 Розрахунок енергетичного потенціалу біогазу та виробництва електроенергії.....	39
5.3 Визначення встановленої електричної потужності та розрахунок виробництва теплової енергії зі зміщенням природного газу.....	41
5.4 Матеріальний баланс біотехнологічної лінії утилізації органічних відходів.....	42
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	44
6.1 Заходи безпеки при експлуатації біогазового обладнання та роботі з вибухонебезпечними газами (CH_4).....	44
6.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні біогазу в когенераційній установці.....	48
7. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ.....	51
7.1 Витрати тепла на підігрів сировини.....	51
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55

ВСТУП

Сучасний вектор розвитку вітчизняного агросектору, пов'язаний із масштабуванням тваринницьких комплексів, гостро ставить питання екологізації виробництва. Функціонування потужних підприємств, таких як ТОВ Молочно-виробничий комплекс (надалі МВК) «Єкатеринославський», що володіє значним поголів'ям високопродуктивної великої рогатої худоби, генерує щоденні великі масиви специфічних органічних субстратів (екскременти, технологічні стоки, залишки підстилки). Неконтрольоване поводження з цими біоресурсами створює суттєвий тиск на екосистеми через емісію парникових газів і ризик забруднення ґрунтових вод. Відтак, пошук та інтеграція новітніх біотехнологічних рішень для їх переробки є критичною необхідністю.

Модернізація існуючих біотехнологічних ліній утилізації дозволяє перетворити екологічний виклик на економічну перевагу. Застосування замкнутих циклів обробки біомаси (зокрема шляхом анаеробної ферментації або керованого аеробного біоконвертування) забезпечує деградацію патогенів, дезодорацію та паралельне отримання альтернативних енергоносіїв і стабілізованих біодобрих. З огляду на це, оптимізація біотехнологічних процесів утилізації відходів на прикладі флагмана індустрії МВК «Єкатеринославський» має високу практичну та наукову значущість, що й визначило вибір теми цієї кваліфікаційної роботи.

Практична важливість дослідження полягає у розробці техніко-біотехнологічних рішень, які дозволять зменшити екологічне навантаження, підвищити енергоефективність і рентабельність ТОВ МВК «Єкатеринославський». Впровадження вдосконаленої лінії утилізації сприятиме відповідності підприємства нормативним вимогам у сфері поводження з відходами та зміцнить його соціальну відповідальність перед місцевою громадою.

1. ТЕХНОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА «ЄКАТЕРИНОСЛАВСЬКИЙ»

1.1 Загальна характеристика МВК (поголів'я, тип утримання тварин, раціон годівлі)



Молочно-виробничий комплекс «Єкатеринославський» — одне з найбільших молочних господарств Дніпропетровської області, основним напрямком діяльності якого є розведення великої рогатої худоби молочних порід та виробництво молока. Підприємство розташоване на території Чумаківської сільської ради Дніпровського району Дніпропетровської області.

За інформацією підприємства, на комплексі утримується близько 5500 голів великої рогатої худоби, з яких приблизно 1300 голів становлять дійні корови. Основною породою є браун-швіцька.

На сучасних молочно-виробничих комплексах такого масштабу, до яких належить «Єкатеринославський», застосовується переважно безприв'язне боксове утримання тварин із механізованою системою видалення гною та централізованим доїнням у доїльних залах.

Цей спосіб утримання ВРХ передбачає такі переваги як: вільне пересування тварин у секціях, відпочинок у індивідуальних боксах, автоматизоване видалення гною, групове утримання за фізіологічним станом та механізовану роздачу кормів.

Відомо, що комплекс самостійно виробляє комбікорми для різних вікових та виробничих груп ВРХ і контролює їх якість у власній лабораторії. Конкретно на нашому підприємстві застосовують такий раціон годівлі для високопродуктивних дійних корів:

- кукурудзяний силос – 35-45%;
- люцерновий або зерно-бобовий корм – 20-30%;
- сіно – 5-10%;
- комбікорм – 20-30%;
- білкові добавки (соєвий або соняшниковий шрот);
- мінерально-вітамінні премікси;
- кухонну сіль та кормову крейду.

Годівля здійснюється за системою TMR (Total Mixed Ration) – повнозмішаний раціон, при якому всі компоненти змішуються в однорідну кормову суміш.

З огляду на масштаби виробництва та значні обсяги утворення органічних відходів, актуальним напрямком удосконалення виробничої діяльності ТОВ «МБК «Єкатеринославський» є впровадження сучасних біотехнологічних методів їх утилізації. Одним із найбільш перспективних способів є анаеробне зброджування гною з отриманням біогазу. Використання біогазових технологій дозволяє одночасно вирішити проблему утилізації відходів, отримати додаткове джерело енергії та виробляти високоякісні органічні добрива для потреб рослинництва.

1.2 Оцінка існуючої системи гноєвидалення та утилізації відходів на комплексі

Важливою складовою діяльності підприємства є система поводження з органічними відходами тваринництва. У процесі виробництва молока утворюються значні обсяги гною, гноївки, залишків кормів, підстилкових матеріалів та стічних вод виробничих приміщень. Основну частину органічних

відходів становить гній великої рогатої худоби, кількість якого безпосередньо залежить від чисельності поголів'я та технології утримання тварин.

За умов безприв'язного утримання корів видалення гною здійснюється механізованими засобами. Гній із проходів накопичується та транспортується до спеціальних накопичувачів або лагун для подальшого зберігання та використання. Система механізованого прибирання дозволяє підтримувати належний санітарний стан виробничих приміщень і зменшує втрати органічної речовини під час транспортування.

Утворені органічні відходи характеризуються високим вмістом органічної речовини, азоту, фосфору та калію, що робить їх цінною сировиною для виробництва органічних добрив або біогазу. Водночас накопичення значних обсягів гною без належної переробки може призводити до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також до утворення неприємних запахів та викидів парникових газів.

1.3 Розрахунок добового та річного виходу екскрементів і стічних вод

Маючи інформацію про кількість голів на МБК “Єкатеринославський” та середні виділення біовідходів на підприємстві можна дізнатись дані за добовий та річний вихід екскрементів та стічних вод.

Добовий вихід екскрементів визначається за формулою 1.1:

$$M_{\text{доб}} = N \times m, \quad (1.1)$$

Де $M_{\text{доб}}$ – добовий вихід екскрементів кг/добу;

N – кількість тварин, гол.;

m – середній добовий вихід екскрементів від однієї тварини, кг/добу.

Для ВРХ при безприв'язному утриманні приймають $m = 55$ кг/добу, тоді маємо:

$$M_{\text{доб}} = 5500 \times 55 = 302\,500 \text{ кг/доб, або } 302,5 \text{ т/добу}$$

Маючи добовий вихід дізнаємось річний шляхом множення отриманного числа на 365 діб:

$$M_{\text{річ}} = 302,5 \times 365 = 110\,412,5 \text{ т/рік}$$

Таким самим чином розрахуємо і вихід стічних вод. Для сучасних молочних комплексів витрати води на миття доїльного обладнання, приміщень та технологічні потреби становлять приблизно:

$$q = 20 \text{ л/(гол} \times \text{добу)}$$

Тоді для визначення добового виходу стічних вод використаємо формулу (1.2):

$$W_{\text{доб}} = N \times q, \quad (1.2)$$

Де $W_{\text{доб}}$ – добовий вихід стічних вод л/добу;

N – кількість тварин, гол.;

m – середній добовий вихід стічних вод від однієї тварини, л/добу.

Маємо:

$$W_{\text{доб}} = 5500 \times 20 = 110\,000 \text{ л/добу, або } 110 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Маючи добовий вихід дізнаємось річний:

$$W_{\text{річ}} = 110 \times 365 = 40\,150 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Дізнавшись потрібні дані можемо узагальнити кількість біовідходів для більш зручних розрахунків проектування біогазової установки.

Маємо формулу (1.3):

$$Q_{\text{доб}} = M_{\text{доб}} + W_{\text{доб}}, \quad (1.3)$$

Переведемо т/добу у м³/добу для більш зручного розрахунку, знаючи що середня щільність екскрементів ВРХ становить 1000 кг/м³ або 1 т/м³ маємо:

$$Q_{\text{м}^3/\text{добу}} = Q_{\text{т/добу}}/\rho_{\text{т/м}^3}$$

$$Q_{\text{м}^3/\text{добу}} = 302,5/1 = 302,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Тепер можемо розрахувати загальний обсяг органічних відходів на добу:

$$Q_{\text{доб}} = 302,5 + 110 = 412,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Річний обсяг становитиме:

$$Q_{\text{річ}} = 412,5 \text{ м}^3/\text{добу} \times 365 = 150\,562,5 \text{ м}^3/\text{рік}$$

1.4 Аналіз екологічного навантаження підприємства на навколишнє середовище

Молочно-виробничий комплекс «Єкатеринославський» належить до великих тваринницьких підприємств України, діяльність яких супроводжується утворенням значних обсягів органічних відходів. За результатами проведених розрахунків встановлено, що на підприємстві щодобово утворюється близько 302,5 т екскрементів та 110 м³ виробничих стічних вод. Загальний обсяг органічних відходів становить близько 412,5 м³ на добу або понад 150 тис. м³ на рік.

Такі обсяги відходів формують значне антропогенне навантаження на навколишнє середовище та потребують впровадження ефективних технологій їх переробки й утилізації.

Основним джерелом негативного впливу на атмосферне повітря є процеси природного розкладання органічної речовини гною під час його накопичення та зберігання. За відсутності належної переробки в атмосферу виділяються метан (CH₄), аміак (NH₃), сірководень (H₂S) та вуглекислий газ (CO₂). Особливу небезпеку становить метан, який є одним із найбільш активних парникових газів. Його потенціал глобального потепління у десятки разів перевищує аналогічний показник для вуглекислого газу. При накопиченні

понад 110 тис. т гною на рік підприємство стає значним локальним джерелом викидів парникових газів.

Крім впливу на атмосферне повітря, значну небезпеку становить забруднення поверхневих та підземних вод. Органічні стоки містять високі концентрації азотних і фосфорних сполук, органічної речовини, патогенних мікроорганізмів та яєць гельмінтів. У разі порушення герметичності накопичувачів або надмірного внесення органічних добрив на поля можливе проникнення забруднювальних речовин у ґрунтові води та водні об'єкти. Щорічне утворення понад 40 тис. м³ стічних вод потребує створення надійної системи збору, транспортування та очищення стоків.

Важливим аспектом є вплив на земельні ресурси. За тривалого зберігання гною на відкритих майданчиках відбувається інфільтрація рідкої фракції у ґрунт, що призводить до локального накопичення азоту, фосфору та солей. Наслідком може стати погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунтів, порушення мікробіологічних процесів та деградація земельних угідь.

Суттєвою екологічною проблемою також є поширення неприємних запахів у зоні впливу підприємства. Джерелами запахів виступають місця накопичення гною, гноєсховища та канали транспортування відходів. У теплий період року інтенсивність утворення запахів значно зростає, що може негативно впливати на умови проживання населення прилеглих територій.

Аналіз кількісних показників утворення відходів свідчить про значний енергетичний потенціал органічної сировини підприємства. За умови анаеробного зброджування 110,4 тис. т гною на рік можливо отримувати значні обсяги біогазу та виробляти електричну й теплову енергію для власних потреб комплексу. При цьому суттєво зменшуються викиди метану в атмосферу, покращується санітарний стан території та утворюється стабілізований дигестат, який може використовуватися як органічне добриво.

Таким чином, результати проведеного аналізу показують, що ТОВ МВК «Єкатеринославський» є потужним джерелом утворення органічних відходів. Щорічне накопичення понад 110 тис. т гною та понад 40 тис. м³ стічних вод

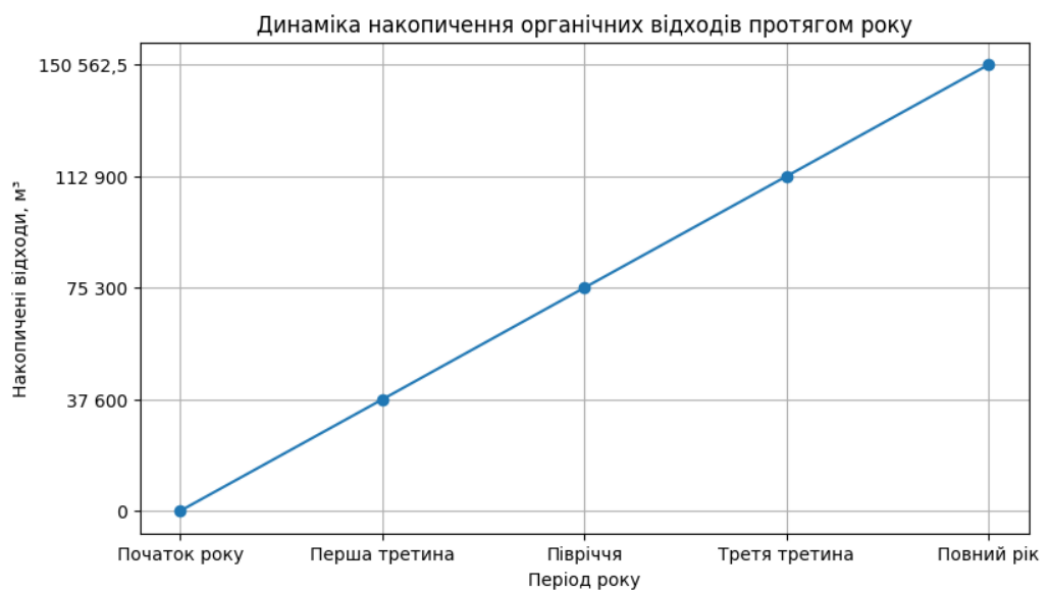
створює значне навантаження на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти. Для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище доцільним є впровадження біогазової установки на основі технології анаеробного зброджування, що дозволить забезпечити комплексну утилізацію відходів та підвищити екологічну безпеку підприємства.

Для зручнішого ознайомлення з отриманими розрахунками, вся інформація наведена у діаграмі.



Діаграма 1 – Вихідні параметри потоків сировини, що надходять на проектувану біотехнологічну лінію.

Також виведемо графік накопичення відходів в період року на якому чітко видно стабільне стрімке зростання кількості відходів. Це є серйозною проблемою для екологічної та економічної складовими підприємства, які ми вирішимо протягом виконання дипломної роботи.



Лінійний графік 1 – Динаміка накопичення відходів тваринництва протягом року

2. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МЕТОДАМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТА РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОВІДХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

2.1 Теоретичні основи та загальні положення біотехнологічної утилізації органічних відходів АПК

У сучасній практиці екологічного менеджменту агропромислового комплексу біотехнологічна утилізація (біоконверсія) розглядається як пріоритетний напрям обробки багатотоннажних відходів тваринництва. В основі біотехнологічних методів лежить здатність природних консорціумів мікроорганізмів або ізольованих ензимних систем здійснювати деградацію, трансформацію та стабілізацію складних органічних субстратів, перетворюючи їх на екологічно безпечні або комерційно цінні продукти.

Функціонування будь-якої біотехнологічної лінії переробки біомаси базується на трьох взаємопов'язаних процесах:

1. Біодеградація – ферментативне розщеплення високомолекулярних органічних сполук (протеїнів, ліпідів, полісахаридів, лігноцелюлозних комплексів), які складають основу екскрементів великої рогатої худоби (надалі ВРХ), до простіших низькомолекулярних метаболітів;

2. Біоконверсія – процес трансформації енергії хімічних зв'язків вихідного органічного субстрату у корисні вторинні ресурси — енергоносії (біогаз) або структуровані гумусові компоненти;

3. Санітація (біотермічне знезараження) – цей процес полягає у деструкції патогенної мікрофлори (зокрема бактерій роду сальмонела), деактивації життєздатних яєць гельмінтів і насіння бур'янів під дією екзотермічних процесів або специфічних метаболітів мікроорганізмів-антагоністів.

2.2 Технологічні чинники керування процесами біоконверсії

Ефективність біотехнологічної лінії безпосередньо залежить від підтримання оптимальних фізико-хімічних параметрів середовища, які лімітують метаболічну активність мікроорганізмів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Оптимальні параметри контролю процесів біотехнологічної утилізації:

Параметр контролю	Рекомендований діапазон значень	Технологічне значення параметра
Температурний режим	Психрофільний (15-25 °C) Мезофільний (35-38 °C) Термофільний (52-55 °C)	Визначає швидкість ферментативних реакцій та ступінь дегельмінтизації.
Вологість субстрату	Для анаеробних ліній: 90-95 %; Для аеробного компостування: 55-65 %	Впливає на швидкість масообміну та дифузію поживних речовин.
Водневий показник (pH)	Оптимально в межах 6,5-8,0	Визначає стабільність ферментних систем; зниження pH < 6,0 є токсичним для метаногенів.
Співвідношення C:N	У межах від 20:1 до 30:1	Забезпечує збалансоване вуглецеве та азотне живлення мікрофлори.

Також при роботі слід ураховувати режим перемішування і концентрацію токсичних речовин та інгібіторів:

1. Режим перемішування (масообмін). Механічне або гідравлічне перемішування в біореакторах забезпечує:

- Рівномірний розподіл температури, поживних речовин та мікроорганізмів по всьому об'єму;
- Руйнування поверхневої кірки, яка формується з легких фракцій відходів (солома, залишки кормів) і перешкоджає вільному виходу біогазу;

- Попередження випадання важкого осаду на дно реактора. Проте перемішування має бути делікатним, оскільки надмірне зсувне напруження може зруйнувати тендітні синтрофні асоціації між різними видами бактерій.

2. Концентрація токсичних речовин та інгібіторів. До факторів технологічного ризику відносять присутність у відходах важких металів, антибіотиків та дезінфікуючих засобів, які використовуються на тваринницькому комплексі. Вони здатні повністю деактивувати ферменти мікроорганізмів. Також критичним є контроль концентрації сірководню (H_2S) у газовій фазі та розчинених сульфатів, які стимулюють розвиток сульфатредуючих бактерій, що є прямими конкурентами метаногенів за субстрат.

2.3 Екологічний та ресурсний ефект біоутилізації

Інтеграція біотехнологічних ліній у виробничу структуру тваринницьких комплексів дозволяє вирішити комплекс взаємопов'язаних екологічних та економічних завдань, таких як:

1. Екологічний аспект – мінімізація антропогенного навантаження на гідросферу через запобігання вимиванню рухомих сполук азоту та фосфору у підземні водоносні горизонти; зниження емісії летких органічних сполук та парникових газів у атмосферне повітря.

2. Ресурсний аспект – рециклінг біогенних елементів шляхом переведення азоту і фосфору у легкодоступні для агрофітоценозів форми, що дозволяє зменшити обсяги закупівлі мінеральних добрив; отримання додаткових обсягів теплової та електричної енергії за рахунок утилізації біогазу.

Таким чином, науково обґрунтоване вдосконалення параметрів біотехнологічної лінії дозволяє трансформувати потенційно небезпечні відходи тваринництва у високоліквідні вторинні ресурси, забезпечуючи перехід підприємства до моделі циркулярної економіки.

2.4 Вплив процесів біотехнологічної утилізації відходів тваринництва на стан гідросфери та атмосферного повітря

Інтенсифікація виробництва на підприємствах агропромислового комплексу (АПК) супроводжується генеруванням значних обсягів органічних відходів, які за умов класичного (пасивного) зберігання у відкритих гноївкозбірниках або лагунах чинять деструктивний техногенний вплив на навколишнє середовище. Впровадження замкнутих біотехнологічних ліній дозволяє кардинально переформатувати характер екологічного навантаження на абіотичні компоненти екосистем.

2.4.1 Оптимізація екологічного стану та якісних показників природних вод

Поверхневі водні об'єкти та підземні водоносні горизонти є найбільш вразливими елементами довкілля в зонах локалізації великих тваринницьких комплексів. Інтеграція керованих біотехнологічних процесів утилізації забезпечує мінімізацію ризиків забруднення гідросфери за такими напрямками:

- Трансформація азотних сполук та попередження евтрофікації.

Сирий тваринницький гній містить високі концентрації лабільних форм органічного азоту, який у ґрунтовому профілі піддається швидкій мінералізації з утворенням рухомих нітрат-іонів (NO_3^-). Останні мають низьку сорбційну здатність щодо ґрунтового поглинаючого комплексу і легко вимиваються інфільтраційними водами у підземні горизонти або змиваються у відкриті водойми, викликаючи їхню антропогенну евтрофікацію. Під час анаеробної біоконверсії відбувається трансформація азотовмісних речовин у стабільнішу амонійну форму (NH_4^+). Амонійний азот ефективно фіксується ґрунтовими колоїдами, що практично нівелює його міграцію у водні екосистеми та підвищує коефіцієнт засвоєння рослинами;

- Деструкція легкоокиснюваної органічної речовини.

Потрапляння сирих стоків у природні водойми призводить до стрімкого дефіциту розчиненого кисню через його витрату на окиснення біомаси. Показники хімічного (ХСК) та біологічного (БСК) споживання кисню неперероблених відходів перевищують гранично допустимі концентрації в сотні разів. Функціонування біотехнологічної лінії забезпечує деструкцію до 75-90 % легкоокиснюваних органічних сполук усередині реакторів. Кінцевий рідкий продукт характеризується низьким потенціалом кисневого виснаження водних об'єктів;

- Біологічна санітація стічних вод.

Необроблені екскременти ВРХ є епідеміологічно небезпечними субстратами, оскільки містять життєздатні форми патогенних мікроорганізмів (зокрема бактерій сальмонела), цисти найпростіших та яйця гельмінтів. Високотемпературні біотехнологічні процеси (термофільна анаеробна ферментація або аеробне біотермічне компостування) забезпечують повну дегельмінтизацію та дезінфекцію субстрату, усуваючи ризики бактеріального забруднення регіональних водозаборів.

2.4.2 Зниження антропогенного навантаження на атмосферне повітря та кліматичну систему

Тваринницький сектор є потужним джерелом емісії парникових газів та токсичних летких сполук. Переведення процесів утилізації відходів у закриті біотехнологічні системи дозволяє реалізувати ефективний контроль газоподібних викидів.

- Скорочення емісії парникових газів.

При пасивному зберіганні гною у лагунах відбуваються некеровані анаеробні процеси, внаслідок яких в атмосферу виділяється величезна кількість метану (CH_4) та оксиду азоту (N_2O), які мають високий потенціал глобального потепління. Застосування герметичних біореакторів (метантенків) дозволяє повністю вловлювати утворений метан. Подальше його

спалювання для генерації енергії трансформує CH_4 у вуглекислий газ (CO_2) біогенного походження, що суттєво зменшує сумарний вуглецевий слід підприємства;

- Дезодорація та уловлювання летких токсикантів.

Головним чинником забруднення атмосферного повітря в зоні впливу MBK є виділення речовин із гострим неприємним запахом: аміаку (NH_3), сірководню (H_2S), меркаптанів та нижчих карбонових кислот. Удосконалена біотехнологічна лінія передбачає деструкцію цих сполук або їх переведення у зв'язаний стан. Зокрема, газова фаза піддається очищенню у біофільтрах, де хемолітоавтотрофні бактерії окислюють сірководень до безпечних сульфатів або елементарної сірки, а оптимізація параметрів компостування дозволяє іммобілізувати аміак у складі стабільних органо-мінеральних комплексів.

Для порівняльної оцінки екологічної ефективності впровадження біотехнологічних методів переробки відходів порівняно з традиційним накопиченням сформовано узагальнюючу таблицю екологічного впливу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 Порівняльний аналіз екологічного впливу способів поводження з відходами:

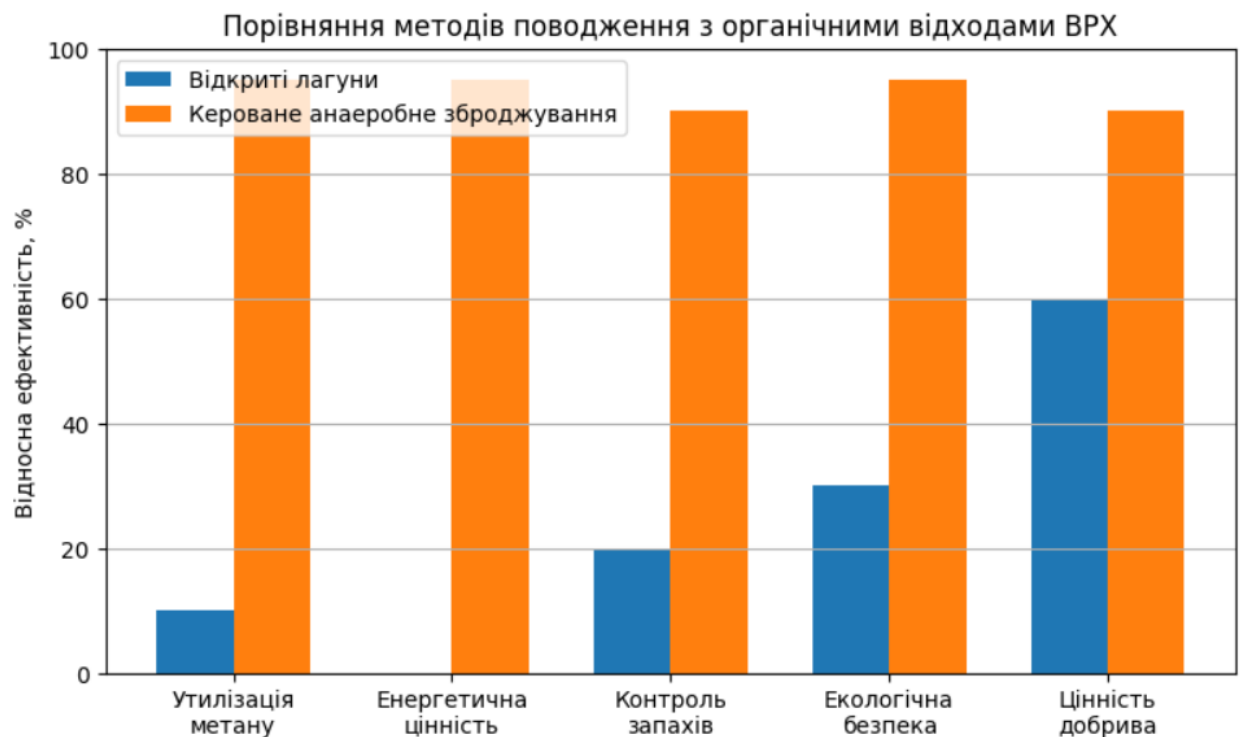
Природне середовище	Пасивне накопичення у відкритих лагунах	Впровадження замкнутої біотехнологічної лінії
Гідросфера (поверхневі та підземні води)	Міграція нітратів, евтрофікація та заморні явища у водоймах Високе навантаження за показниками БСК та ХСК Ризик бактеріологічного інфікування водотоків	Фіксація азоту в амонійній формі, запобігання вимиванню Зниження концентрації легкоокиснюваної органіки на 75-90 % Повна термічна санітація та дегельмінтизація

Продовження таюлиці 1.2

Атмосфера та клімат	Неконтрольована емісія парникових газів (CH_4 , N_2O) Поширення токсичних летких сполук (NH_3 , H_2S) та неприємних запахів	Вловлювання метану з подальшою утилізацією в енергію Біофільтрація відхідних газів, глибока дезодорація середовища
---------------------	--	---

Завдяки переходу від пасивного накопичення відходів тваринництва до їх переробки в умовах закритих біотехнологічних ліній є науково обґрунтованим кроком до мінімізації екологічних ризиків для водних і повітряних ресурсів регіону, що забезпечує дотримання сучасних нормативних вимог з охорони довкілля та принципів екологічної безпеки.

Для підсумку наведу порівняння традиційного зберігання у відкритих лагунах та керованого анаеробного зброджування з видимою перевагою на стороні другого методу:



Лінійний графік 2 – порівняння традиційного зберігання у відкритих лагунах та керованого анаеробного зброджування.

За результатами порівняльного аналізу встановлено, що традиційний спосіб накопичення гною у відкритих лагунах, попри мінімальні капіталовкладення на початковому етапі, призводить до суттєвої деградації енергетичного потенціалу біомаси та створює значне екологічне навантаження. Натомість технологія контрольованої анаеробної ферментації забезпечує трансформацію тваринницьких відходів у високоліквідний енергоносіє, мінімізує емісію парникових газів, оптимізує санітарно-гігієнічні показники виробництва та дозволяє отримувати кондиційні органічні добрива. З огляду на це, інтеграція біогазового комплексу в технологічну схему ТОВ «МБК «Єкатеринославський» є науково та практично виправданим кроком, що поєднує екологічну безпеку та економічну ефективність.

3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1 Біологічні методи

Гній великої рогатої худоби є цінним органічним ресурсом, але при нераціональному поводженні може стати джерелом забруднення довкілля. Тому на сучасних фермах впроваджуються технології, що дозволяють мінімізувати екологічні ризики та отримати додаткову користь у вигляді органічних добрив або джерела енергії.

Розглянемо методи переробки гною у корисні органічні речовини:

1. Анаеробне зброджування (біогазові технології). Це найперспективніший напрямок для модернізації ліній на великих комплексах.

Принцип дії:

- Розкладання органіки консорціумом мікроорганізмів без доступу кисню;
- Продукти що використовуються: Біогаз (метан CH_4 – 55-70%, вуглекислий газ CO_2 та домішки), який трансформується в електроенергію та тепло, а також ефлюент – високоякісне, дезінфіковане органічне добриво, де азот знаходиться у легкодоступній для рослин формі (NH_4^+).

2. Компостування. Гній змішують із соломою та іншими рослинними залишками, що прискорює його розкладання. У результаті отримують безпечне органічне добриво, яке не має різкого запаху і містить корисні для ґрунту речовини. Принцип дії:

- Окиснення органічної речовини аеробними бактеріями та грибами за наявності кисню та вологи. Супроводжується саморозігріванням маси до 60-70 °C (термофільна фаза), що знищує патогени та насіння бур'янів.

Технології що використовуються:

- Буртове компостування – перероблення органічних відходів шляхом їх укладання у довгі, вузькі насипи (бурти) на відкритому повітрі або під навісами;

- Закриті біореактори (ферментатори) – прискорюють процес компостування.

3. Вермікомпостування. Переробка попередньо ферментованого гною за допомогою технологічних черв'яків (наприклад, червоного каліфорнійського).

- Продукти що використовуються: Біогумус (вермікомпост) – елітне органічне добриво з високим вмістом гумінових кислот та стимуляторів росту рослин.

4. Культивування личинок комах (Біоконверсія). Використання гною як субстрату для вирощування личинок мухи Чорна левинка. Личинки швидко переробляють відходи, а самі є цінним джерелом високоякісного білка та жиру для кормових цілей.

3.2 Фізико-механічний метод (Попередня підготовка та розділення)

Цей метод не працює самостійно на відміну від біологічних, але є обов'язковим елементом будь-якої сучасної технологічної лінії:

1. Сепарація (Механічне розділення на фракції) – Розділення рідкого гною за допомогою гвинтових сепараторів, центрифуг або сит. В результаті:

- *тверда фракція* (вологість 60-70%) використовується для компостування або як комфортна підстилка для корів (після біотермічної обробки);

- *рідка фракція* направляється в біогазовий реактор або безпосередньо на зрошення полів.

3.3 Термічні методи

Використовуються рідше через високу вологість вихідної сировини ВРХ (вимагають значних витрат енергії на сушіння), але мають місце в промисловості.

1. Спалювання (пряме спалювання) – можливе лише для гною з високим вмістом підстилки (соломи, тирси) після глибокого висушування для отримання теплової енергії.

2. Піроліз та газифікація - термічний розклад сухого біоматеріалу без доступу (або за обмеженого доступу) кисню з отриманням синтез-газу, піролізної смоли та біовугілля. Біовугілля потім може застосовуватися як меліорант для покращення структури ґрунтів.

Використання таких технологій має значні екологічні переваги. Зокрема, зменшується забруднення ґрунтів і водних ресурсів, запобігається викид у атмосферу парникових газів таких як метан. Крім того, це приносить економічну вигоду: підприємство заощаджує на енергії за рахунок виробництва біогазу, а також отримує додатковий дохід від продажу добрив.

4. РОБОТА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Обґрунтування та розрахунок параметрів основного технологічного обладнання (метантенків, газгольдерів, сепараторів, мішалок)

Робота біогазової установки – це циклічний і повністю закритий процес, у якому відходи (в нашому випадку – гній ВРХ та інші органічні субстрати) перетворюються на відновлювану енергію та високоякісні добрива. В основі всього процесу лежить анаеробне розкладання біомаси мікроорганізмами.

Технологічну схему роботи стандартної біогазової установки можна розділити на кілька ключових етапів.

Основні етапи технологічного процесу:

1. Збір та попередня підготовка сировини – гній із тваринницьких приміщень за допомогою систем гноєвидалення (транспортерів або скреперів) потрапляє у приймальний резервуар. Тут біомаса гомогенізується (перемішується до однорідного стану). За потреби додається рідка фракція або вода для досягнення оптимальної вологості (зазвичай близько 88-92% для мокрого зброджування). Проводиться підігрів сировини перед подачею в основний реактор, щоб уникнути температурного шоку у бактерій;

2. Анаеробне зброджування (серце установки) – з підготовчого резервуара маса насосами перекачується в метантенк (біореактор). Це повністю герметичний залізобетонний або сталевий резервуар із теплоізоляцією.

Всередині метатенка без доступу кисню відбуваються чотири послідовні хіміко-біологічні стадії:

1) **Гідроліз** – складні полімери (білки, жири, вуглеводи) розщеплюються бактеріями до простих розчинних сполук;

2) **Ацидогенез** (кислотоутворення) – утворюються леткі жирні кислоти, спирти, CO₂ та водень;

3) **Ацетогенез** – перетворення продуктів попередньої стадії на оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ;

4) **Метаногенез** – строго анаеробні археї (метаногени) переробляють оцтову кислоту й водень, виділяючи метан (CH_4).

Важливими умовами всередині метантенкахочу зауважити:

- Температурний режим. Найчастіше використовують мезофільний ($37\text{-}42\text{ }^{\circ}\text{C}$) або термофільний ($50\text{-}55\text{ }^{\circ}\text{C}$) режим. Термофільний процес іде швидше і краще знезаражує гній, але він чутливіший до коливань температури;

- Перемішування. Механічні або гідравлічні мішалки постійно працюють у реакторі, щоб руйнувати кірку, вивільняти бульбашки газу та забезпечувати рівномірний контакт бактерій із поживним субстратом.



Технологічний процес виробництва біогазу на ТОВ «МБК «Єкатеринославський» починається зі збору органічних відходів великої рогатої худоби в тваринницьких приміщеннях. Видалення гною здійснюється механізованою системою скреперних транспортерів, які переміщують рідкі екскременти до приймального колектора (крес-каналу). У приймальному колекторі відбувається первинне накопичення та транспортування відходів до вузла попередньої підготовки.

Одночасно до системи надходять технологічні стічні води від доїльного залу, миття обладнання та виробничих приміщень. Добовий обсяг рідких екскрементів становить $302,5\text{ м}^3$, а обсяг технологічних стічних вод – 110 м^3 .

Рідкі екскременти ВРХ $302,5\text{ м}^3/\text{добу}$ ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) та Технологічні стічні води $110\text{ м}^3/\text{добу}$ ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Рис. 1 – Приймальний колектор

Із приймального колектора суміш надходить до приймального резервуара-гомогенізатора. У резервуарі встановлена занурена мішалка, яка забезпечує рівномірне перемішування компонентів, запобігає осіданню твердих частинок та утворенню кірки на поверхні. У процесі гомогенізації формується однорідний субстрат із вологістю 88-92 %, придатний для подальшого анаеробного зброджування. Загальний добовий обсяг підготовленого субстрату становить 412,5 м³.



Рис. 2 - Приймальний резервуар

Після гомогенізації субстрат за допомогою насосної станції подається через теплообмінник попереднього підігріву. У теплообміннику температура субстрату підвищується від приблизно $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до робочої температури процесу зброджування $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Джерелом теплової енергії є теплота, що утилізується від когенераційної установки біогазового комплексу.

Після гомогенізації:

Субстрат вологістю 88-92 % $412,5\text{ м}^3/\text{добу}$

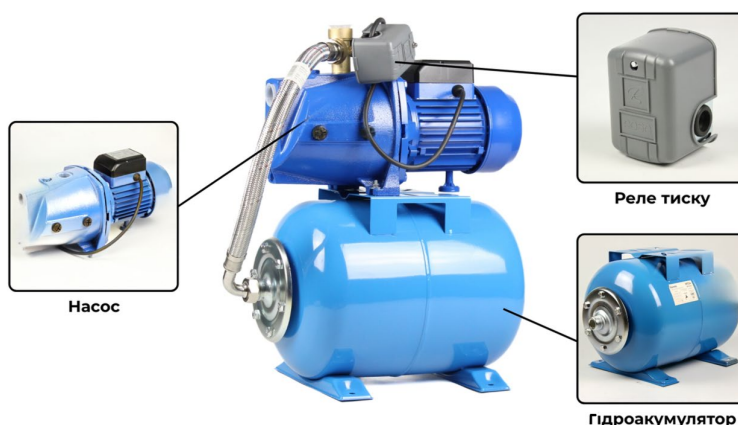


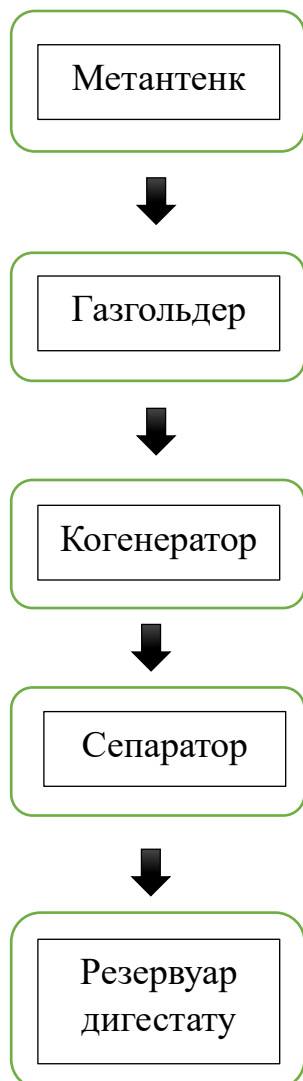
Рис. 3 – Насосна станція



Рис. 4 – Теплообмінник попереднього підігріву

Теплообмінник також можна назвати радіатором у який входить сировина температурою $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а виходить з температурою $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (як стандарт для мезофільного температурного режиму). Після чого об'єм

підігрітої речовини подається у метантенки для початку реакції анаеробного зброджування.



Підігрітий субстрат надходить до двох метантенків об'ємом по 6000 м³ кожний. У метантенках підтримуються анаеробні умови, тобто повна відсутність кисню, необхідна для життєдіяльності метаногенних мікроорганізмів. Для забезпечення рівномірного перебігу біохімічних процесів реактори обладнані системою перемішування сумарною потужністю 60 кВт та системою автоматичного контролю температури.



Рис. 5 – Метантенк біогазового комплексу

У процесі анаеробного зброджування органічна речовина проходить чотири основні стадії. На стадії гідролізу складні органічні сполуки розщеплюються на простіші компоненти. Далі під час ацидогенезу

утворюються органічні кислоти, спирти та інші проміжні продукти. На стадії ацетогенезу ці сполуки перетворюються на оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ. Завершальною стадією є метаногенез, у процесі якого метаноутворювальні бактерії синтезують метан і вуглекислий газ, формуючи біогаз.

У результаті роботи метантенків щодобово утворюється близько 10 587,5 м³ біогазу, що містить приблизно 60 % метану. Отриманий біогаз накопичується у мембранному газгольдері об'ємом 3200 м³, який забезпечує вирівнювання нерівномірності виробництва та споживання газу.



Рис. 6 – Метантенки з мембранними газгольдерами

З газгольдера біогаз надходить до когенераційної установки (когенератор) потужністю 1 МВт. У газопоршневому двигуні відбувається спалювання біогазу, внаслідок чого виробляється електрична та теплова енергія. Електроенергія використовується для забезпечення потреб підприємства або може передаватися до електромережі. Теплова енергія використовується для підігріву субстрату в теплообмінниках, підтримання температурного режиму метантенків та опалення виробничих приміщень.



Рис. 7 – Когенераторна установка (когенератор)

Після завершення процесу зброджування з метантенків виводиться дигестат – стабілізований органічний залишок, який надходить на сепаратор. У сепараторі дигестат розділяється на тверду та рідку фракції. Тверда фракція використовується як органічне добриво або сировина для компостування, а рідка фракція накопичується у резервуарах і застосовується для удобрення сільськогосподарських угідь.



Рис.8 – Шнековий сепаратор

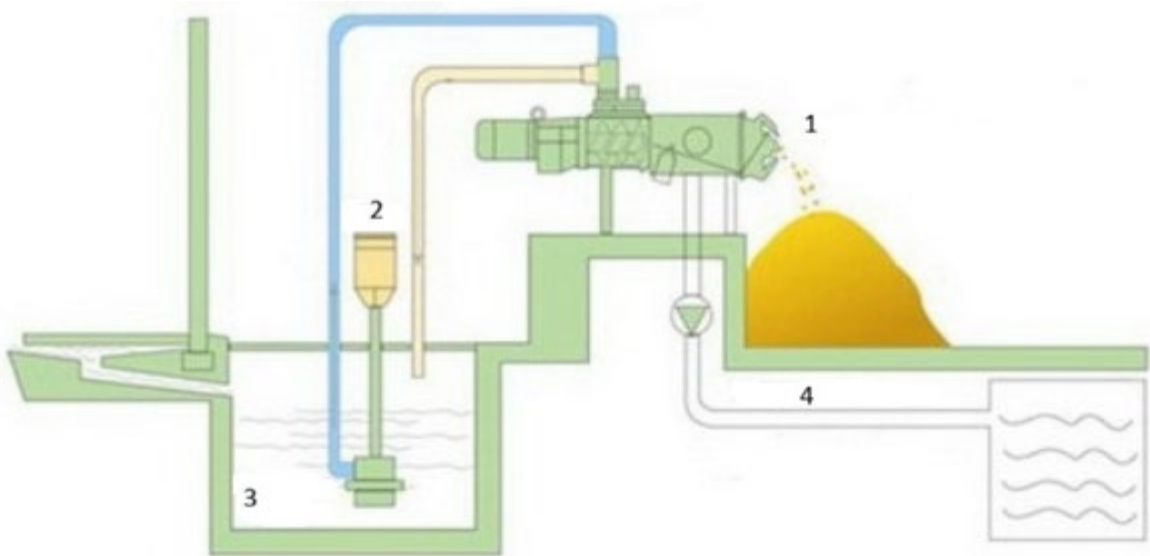


Рис. 9 – схема роботи шнекового сепаратора; 1) – Вихід твердої фракції, 2) – Насос викачки рідини, 3) – Початкова сировина, 4) – Вихід рідкої фракції.

Таким чином, запропонована технологічна схема забезпечує повну утилізацію органічних відходів тваринництва, виробництво відновлюваної енергії та отримання високоякісних органічних добрив, що підвищує екологічну та економічну ефективність роботи підприємства.

3. Збір та очищення біогазу – біогаз, що виділяється, піднімається вгору і накопичується під куполом метантенка. Сирий біогаз містить багато вологи та шкідливу домішку — сірководень (H_2S), який викликає сильну корозію металу.

Тому перед використанням газ проходить систему очищення:

- Десульфуризація. Очищення від сірководню (біологічним способом за допомогою дозованої подачі повітря або через хімічні фільтри).

- Осушення та охолодження. Газ охолоджують у конденсаторівідводниках, щоб прибрати надлишкову вологу.

4. Отримання кінцевих продуктів (Енергія та добрива) – після очищення процес розділяється на дві продуктивні гілки:

- 1) Газова гілка (енергія). Очищений біогаз надходить до когенераційної установки (КГУ). Це газовий двигун внутрішнього згоряння, з'єднаний із генератором. КГУ одночасно виробляє електричну енергію (йде в мережу або на потреби ферми) та теплове енергію (використовується для підігріву самого

метантенка, а надлишок — для опалення будівель, сушильних комплексів тощо);

2) Шламова гілка (добрива). Переброджений субстрат вивантажується з метантенка у сепаратор. Як ми вже розбирали, там він ділиться на тверде добриво (компост/підстилка) та рідке, яке вивозиться на поля і вноситься як стерильне біодобриво.

Такі методи утилізації та переробки відходів будуть корисними для комплексів завдяки вирішенню трьох проблем:

1. Екологічну: Знищуються патогени, насіння бур'янів, зникає різкий запах гною, зменшуються викиди парникових газів;

2. Енергетичну: Комплекс стає енергонезалежним від зовнішніх мереж по електриці та теплу;

3. Агрономічну: Отримані добрива засвоюються рослинами на 90% (сирий гній – лише на 30-40%), що дозволяє повністю відмовитися від дорогих мінеральних добрив.

Для наглядності повного процесу проходження сировини через процес виробництва біогазу наведемо покроковий хід роботи біогазового комплексу та анаеробного збродження.

4.2 Розрахунок об'єму метантенка

Основою технологічної лінії утилізації органічних відходів на ТОВ МВК «Єкатеринославський» є комплекс обладнання, до складу якого входять приймальні резервуари, сепаратори, метантенки, мішалки, газгольдини та когенераційна установка. Розрахунок параметрів обладнання виконувався на підставі отриманих даних щодо обсягів утворення органічних відходів підприємства.

Перш за все розрахуємо об'єм метантенка який знадобиться нам для роботи із розрахованою кількістю відходів. Об'єм метантенка визначається за формулою (2.1):

$$V_m = Q_{\text{доб}} \times t, \quad (2.1)$$

де: V_m – робочий об'єм метантенка, м^3 ;

$Q_{\text{доб}}$ – добова кількість субстрату, $\text{м}^3/\text{добу}$;

t – час гідравлічного утримання субстрату, діб.

Для мезофільного режиму анаеробного зброджування приймаємо час гідравлічного утримання субстрату t як 25 діб.

Добовий потік субстрату в нас $Q_{\text{доб}} = 412,5 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Тоді маємо:

$$V_m = 412,5 \times 25 = 10\,312,5 \text{ м}^3$$

Для забезпечення стабільної роботи системи вводять резерв 15 %, що становить $10\,312,5 \times 0,15 = 1\,546,875$:

$$V_m^{\text{рез}} = 11\,859,375 = 11\,859 \text{ м}^3$$

Отже, для ефективної роботи із відходами комплексу доцільно встановити два метантенки об'ємом:

$$V_1 = V_2 = 11\,859/2 \approx 5930 \text{ м}^3$$

Для більш зручного розрахунку та роботи округлимо значення до 6000 м^3 . Загальним об'ємом метатенків у такому випадку можна вважати $V_{\Sigma} = 12\,000 \text{ м}^3$.

4.3 Розрахунок газгольдера та виходу біогазу

Газгольдер – вбудований або прибудований резервуар, призначений для збору, вирівнювання тиску та тимчасового зберігання біогазу, який утворюється в результаті анаеробного (без кисню) бродіння органічних відходів (осаду стічних вод, гною, біомаси). Ємність газгольдера приймається як 25-35% від добового виходу біогазу. При виході гною ВРХ середнім вважають показник:

$$Y = 35 \text{ м}^3/\text{т}$$

Добовий вихід газу розраховують за формулою (2.2):

$$V_{\text{доб}} = M_{\text{доб}} \times Y, \quad (2.2)$$

Отримаємо такі показники для добового виходу:

$$V_{\text{доб}} = 302,5 \times 35 = 10\,587,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Тоді річним виходом маємо значення:

$$V_{\text{річ}} = 10587,5 \times 365 = 3\,864\,438 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Тепер маючи дані по виділенню газів ми можемо розрахувати потрібну ємність для газгольдера за допомогою формули (2.3):

$$V_{\text{г}} = 0,30 \times V_{\text{доб}}, \quad (2.3)$$

$$V_{\text{г}} = 0,30 \times 10\,587,5 = 3176,3 \text{ м}^3$$

Приймаємо один мембранний газгольдер на 3200 м³ для зручніших розрахунків, або для двох резервуарів по 1600 м³ кожний.

4.4 Розрахунок сепаратора та мішалок метантенка

Сепаратор це конструктивний елемент, призначений для розділення (сепарації) сумішей, що утворюються в процесі анаеробного зброджування. Його продуктивність визначається за формулою (2.4):

$$Q_{\text{сеп}} = Q_{\text{доб}}/T, \quad (2.4)$$

Де T – тривалість роботи обладнання, год/добу (прийmemo за 8 год);

$$Q_{\text{сеп}} = 412,5/8 = 51,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

З урахуванням резерву 20% це значення становитиме $51,6 \times 1,2 = 61,9 \text{ м}^3/\text{год}$.
Прийmemo шнековий сепаратор продуктивністю 60-65 м³/год.

Мішалки являються спеціальними механічними пристроями всередині біореактора, призначеними для безперервного або періодичного перемішування органічної маси (субстрату). Вони є критично важливим елементом для ефективної роботи біогазових установок та очисних споруд. Питома потужність перемішування для метантенків мезофільного типу становить 5 Вт/м³. Загальний об'єм метантенків у нашому випадку становить 12 000 м³. Дізнаємось потужність системи перемішування за допомогою формули (2.5):

$$N = N_{\text{пит}} \times V, \quad (2.5)$$

Де N – потужність системи перемішування кВт;

$N_{\text{пит}}$ – питома потужність перемішування Вт/м³.

$$N = 5 \times 12\,000 = 60\,000 \text{ Вт} = 60 \text{ кВт}$$

Для двох реакторів приймаємо потужність по 30 кВт та встановлення двох занурювальних мішалок потужністю 15 кВт у кожному метантенку.

4.5 Розрахунок накопичувача дигестату

Побічний продукт, який утворюється в метантенку в результаті анаеробного зброджування органічної сировини для виробництва біогазу називають дигестат. Добовий вихід дигестату практично дорівнює об'єму завантаженого субстрату, тобто $Q_{\text{доб}} = 412,5 \text{ м}^3/\text{добу}$.

У висновку зазначимо, що у результа-ті проведених розрахунків для переробки органічних відходів ТОВ МВК «Єкатеринославський» рекомендовано встановити біогазовий комплекс, який включає два метантенки об'ємом по 6000 м³, мембранний газгольдер об'ємом 3200 м³, сепаратор продуктивністю 60-65 м³/год, систему мішалок сумарною потужністю 60 кВт та резервуар для зберігання дигестату об'ємом 38 тис. м³. Розрахунковий вихід біогазу становить близько 10,6 тис. м³ на добу або 3,86 млн м³ на рік.

5. РОЗРАХУНОК ВИХОДУ БІОГАЗУ, ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

5.1 Розрахунок добового та річного виходу біогазу й метану в ньому

Одним із основних завдань проектування біогазового комплексу є визначення потенційного виходу біогазу та оцінка можливостей виробництва електричної і теплової енергії. Вихідними даними для розрахунку є добовий обсяг гною великої рогатої худоби, що утворюється на ТОВ МВК «Єкатеринославський».

Для гною великої рогатої худоби середній вихід біогазу приймається в межах 30-40 м³/т. Для розрахунку приймаємо середнє значення в $Y = 35$ м³/т.

Добовий вихід гною на підприємстві становить $M_{\text{доб}} = 302,5$ т/добу. Тоді добовий вихід біогазу визначається за формулою (3.1):

$$V_{\text{доб}} = M_{\text{доб}} \times Y, \quad (3.1)$$

Де $V_{\text{доб}}$ – добовий вихід біогазу, м³/добу;

$M_{\text{доб}}$ – добова маса гною, т/добу;

Y – питомий вихід біогазу, м³/т.

$$V_{\text{доб}} = 302,5 \times 35 = 10\,587,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$V_{\text{річ}} = V_{\text{доб}} \times 365 = 10\,587,5 \times 365 = 3\,864\,438 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Отже, річний потенціал виробництва біогазу становить 3 864 438 м³/рік.

Основним енергетичним компонентом біогазу є метан. Для біогазу, отриманого з гною ВРХ, середній вміст метану становить $C_{\text{CH}_4} = 60\%$. Добовим вихід метану буде:

$$CH_{4 \text{ доб}} = V_{\text{доб}} \times 0,60 = 10\,587,5 \times 0,60 = 6352,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Річним буде вихід метану $6352,5 \times 365 = 2\,318\,663$ м³/рік.

5.2 Розрахунок енергетичного потенціалу біогазу та виробництва електроенергії

Енергетичний потенціал біогазу в біореакторах залежить від складу сировини, її об'єму та технології зброджування. У нашому випадку використовується гній ВРХ у якому вміст метану становить 55% в 15-20 м³ сировини на 1 тонну.

Теплотворна здатність біогазу з вмістом метану 60% становить $Q = 6,0 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{м}^3$. Тоді добовий енергетичний потенціал розрахуємо за формулою (3.2):

$$E_{\text{доб}} = V_{\text{доб}} \times Q, \quad (3.2)$$

$$E_{\text{доб}} = 10\,587,5 \times 6,0 = 63\,525 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{добу}$$

Річним потенціалом буде:

$$E_{\text{річ}} = 63\,525 \times 365 = 23\,186\,625 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{рік} \approx 23\,190 \text{ МВт} \times \text{год} / \text{рік}$$

Біогаз перетворюється на електроенергію шляхом спалювання у спеціальних газопоршневих двигунах. Газ виділяє тепло, яке обертає ротор генератора, виробляючи електричний струм. Процес зазвичай проходить у кілька етапів, починаючи від видобутку і закінчуючи подачею в загальну електромережу. Для перетворення біогазу в електроенергію передбачається використання когенераційної установки. ККД сучасних газопоршневих когенераційних установок становить $\eta_{\text{ел}} = 38\%$.

Тоді добове виробництво електроенергії знаходимо за формулою (3.3):

$$W_{\text{ел доб}} = E_{\text{доб}} \times \eta_{\text{ел}}, \quad (3.3)$$

$$W_{\text{ел доб}} = 63\,525 \times 0,38 = 24\,140 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{добу}$$

Річне виробництво електроенергії становитиме $24\,140 \times 365 = 8\,810\,918 \text{ кВт} \times \text{год/рік}$ або $8811 \text{ МВт} \times \text{год/рік}$.

Розглядаючи тему енергоутворення на підприємстві окрім біогазових установок можна було б використовувати сонячні електростанції, що також є достатньо безпечним шляхом отримання електроенергії з мінімальною шкодою для навколишнього середовища. Порівняємо виробіток електроенергії біогазових установок із виробітком електроенергії сонячних панелей щоб переконатися який із методів буде ресурсно та економічно ефективнішим.

Для сучасних біогазових установок зазвичай застосовують циліндричні реактори висотою 10-12 м, ми маємо два метантенки об'ємом по 6000 м^3 , тож приблизну площу, яку будуть займати біогазові установки на підприємстві можемо розрахувати так:

$$S = V/H$$

Де S – площа одного метантенка, м^2 ;

V – об'єм одного метантенка, м^3 ;

H – висота купола метантенка, м.

Звідси отримуємо таке значення:

$$S = 6000/12 = 500 \text{ м}^2$$

Отже площа яку займатиме одна біогазова установка становить 500 м^2 і 1000 м^2 займатимуть дві установки відповідно. Враховуючи допоміжні споруди, що займають 2-3 площі самих реакторів, отриману площу збільшуємо у 3 рази і отримаємо 3000 м^2 території. Так як окрім вище перерахованих будівель наше підприємство має ще й резервуар для накопичення дигестату об'ємом $38\,000 \text{ м}^3$ який займає найбільшу площу, маємо урахувати і його також.

Прийmemo глибину лагуни для накопичення дигестату як 5 метрів. Тоді:

$$S_{\text{лаг}} = 38\,000/5 = 7600 \text{ м}^2$$

Поєднавши значення площ установок та резервуару дигестату отримуємо загальну площу біогазового комплексу $3000 + 7600 = 10\,600\text{ м}^2$ території.

Займаючи територію трохи більше 1 га, біогазовий комплекс виробляє стабільні $24\,140\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{добу}$ та $8811\text{ МВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$. Якби таку територію відвели для возведення системи сонячних панелей, ураховуючі умови Дніпропетровської області, вони б виробляли в середньому $2004\text{ МВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$, що становить лиш $22,7\%$ від річного виробітку електроенергії біогазового комплексу.

Такі розрахунки дають змогу зрозуміти раціональність та ефективність використання саме біогазового комплексу на підприємстві з переробки та цтилізації відходів тваринного походження.

5.3 Визначення встановленої електричної потужності та розрахунок виробництва теплової енергії зі зміщенням природного газу

Електрична потужність являється фізичною величиною, яка визначає швидкість передачі, споживання або перетворення електричної енергії. Простими словами, вона показує, як швидко електричний прилад виконує роботу. У нашому випадку визначається електрична потужність когенераційної установки і визначається за формулою (3.4):

$$P_{\text{ел}} = W_{\text{ел доб}}/24, \quad (3.3)$$

$$P_{\text{ел}} = 24\,140/24 = 1006\text{ кВт}$$

Приймемо когенераційну установку потужністю $P_{\text{ел}} = 1000\text{ кВт} = 1\text{ МВт}$. Після цього розрахуємо ККД використання теплової енергії когенераційної установки, яка становить $\eta_{\text{т}}=45\%$. Звідси визначимо добовий вихід теплової енергії формулою (3.4):

$$Q_{\text{т доб}} = E_{\text{доб}} \times 0,45, \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{т доб}} = 63\,525 \times 0,45 = 28\,586 \text{ кВт} \times \text{год} / \text{добу}$$

Річний вихід теплової енергії становитиме $28\,586 \times 365 = 10\,433\,890$ кВт×год/рік або $10\,434$ МВт×год/рік.

Після усіх розрахунків залишилось розрахувати заміщення природного газу. 1 м^3 біогазу еквівалентний приблизно $0,6 \text{ м}^3$ природного газу.

Тоді річне заміщення природного газу становитиме $V_{\text{газ}} = 3\,864\,438 \times 0,6 = 2\,318\,663 \text{ м}^3 / \text{рік}$.

Отже, біогазовий комплекс дозволяє щорічно замістити понад $2,3$ млн м^3 природного газу.

Проведені розрахунки показали, що органічні відходи ТОВ МВК «Єкатеринославський» мають значний енергетичний потенціал. За умови анаеробного зброджування $302,5$ т гною на добу можливо отримувати близько $10,6$ тис. м^3 біогазу щоденно. Це забезпечує роботу когенераційної установки електричною потужністю близько 1 МВт та дозволяє виробляти понад 8811 МВт×год/рік електроенергії і понад $10\,434$ МВт×год/рік теплової енергії на рік. Впровадження біогазового комплексу дає можливість не лише утилізувати органічні відходи, але й суттєво підвищити енергетичну незалежність підприємства та зменшити його негативний вплив на навколишнє середовище.

5.4 Матеріальний баланс біотехнологічної лінії утилізації органічних відходів

Матеріальний баланс біотехнологічної лінії анаеробного зброджування для ТОВ МВК «Єкатеринославський» з урахуванням добового надходження органічних відходів тваринництва буде виглядати таким чином (табл. 1.3):

Таблиця 1.3 - Підсумковий матеріальний баланс біотехнологічної лінії утилізації органічних відходів

Вхідні потоки	т/добу	%
Гній ВРХ	302,5	73
Стічні води	110,0	27
Разом вхід	412,5	100
Вихідні потоки	т/добу	%
Біогаз	12,7	3
Тверда фракція дигестату	80,0	20
Рідка фракція дигестату	320,0	77
Разом вихід	412,7	100

Добовий вихід біогазу визначений в одиницях м³/добу, переведемо його у т/добу помноживши його об'єм на густину та дізнавшись масу:

$$M_{\text{біогаз}} = 10\,587,5 \times 1,2 = 12\,705 \text{ кг/добу} = 12,7 \text{ т/добу}$$

Після цього визначимо масу дигестату:

$$M_{\text{диг}} = M_{\text{вх}} - M_{\text{біогаз}} = 412,5 - 12,7 \approx 400 \text{ т/добу}$$

Після сепаратора дигестат розділяється на тверду та рідку фракції. Для гною ВРХ зазвичай отримують 20% та 80% відповідно.

Тому тверда фракція буде становити 80 т/добу, а рідка фракція – 320 т/добу.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Заходи безпеки при експлуатації біогазового обладнання та роботі з вибухонебезпечними газами (CH₄)

Експлуатація біогазових установок пов'язана з наявністю горючих та вибухонебезпечних газів, основним компонентом яких є метан (CH₄). Вміст метану в біогазі, що утворюється під час анаеробного зброджування гною великої рогатої худоби, становить у середньому 55-70%. Метан є безбарвним газом без запаху, легшим за повітря та здатним утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Тому під час експлуатації біогазового комплексу особлива увага повинна приділятися питанням охорони праці, пожежної та вибухової безпеки.

1. Основні небезпечні виробничі фактори.

Під час роботи біогазової установки на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- вибухонебезпечні концентрації метану в приміщеннях;
- утворення токсичних концентрацій сірководню (H₂S);
- підвищений тиск у газопроводах і газгольдерах;
- можливість займання біогазу при контакті з відкритим полум'ям або джерелами іскроутворення;
- рухомі частини насосів, сепараторів та мішалок;
- підвищена вологість виробничого середовища;
- ураження електричним струмом від електрообладнання;
- біологічна небезпека під час контакту з органічними відходами.

2. Вимоги до розміщення обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації біогазового комплексу необхідно:

- розміщувати метантенки та газгольдери на окремому виробничому майданчику;
- дотримуватись нормативних протипожежних відстаней між технологічними спорудами;
- обладнати територію твердим покриттям і системою відведення поверхневих вод;
- забезпечити вільний доступ пожежної техніки до всіх споруд;
- встановити попереджувальні знаки безпеки та інформаційні таблички.

3. Заходи щодо запобігання вибухам і пожежам.

Для попередження аварійних ситуацій необхідно передбачити:

1) Герметизацію обладнання – усі елементи системи транспортування та зберігання біогазу повинні бути герметичними. Не допускаються витіки газу через фланцеві з'єднання, люки, арматуру та трубопроводи.

2) Контроль концентрації газів – у приміщеннях встановлюються автоматичні газоаналізатори, які здійснюють безперервний контроль концентрації метану та сірководню.

3) Система аварійного скидання газу – газгольдери та метантенки обладнуються запобіжними клапанами для захисту від надлишкового тиску.

4) Факельна установка – у разі аварійної зупинки когенераційної установки надлишковий біогаз спалюється у факельній системі.

5) Блискавкозахист – метантенки, газгольдери та газопроводи повинні бути обладнані системою блискавкозахисту відповідно до чинних норм.

6) Заземлення обладнання – для запобігання накопиченню статичної електрики всі металеві конструкції та трубопроводи підлягають надійному заземленню.

4. Вимоги до електрообладнання у вибухонебезпечних зонах.

У вибухонебезпечних зонах біогазового комплексу допускається використання лише спеціалізованого обладнання. Електрообладнання повинно суворо відповідати категорії вибухонебезпечності середовища та проходити регулярні перевірки технічного стану.

Обов'язковому застосуванню підлягають:

- 1) Електродвигуни у вибухозахищеному виконанні;
- 2) Вибухозахищені світильники відповідного класу;
- 3) Герметичні розподільчі коробки та комунікаційні апарати;
- 4) Кабельні мережі, прокладені із надійним захистом від механічних пошкоджень (у трубах, коробах або броньованим кабелем).

5. Заходи безпеки при роботі з токсичними газами (сірководнем).

Біогаз містить у своєму складі сірководень (H_2S) – високотоксичний газ, який навіть у малих концентраціях становить загрозу для життя та здоров'я людей. Для захисту персоналу необхідно впровадити такі заходи:

- 1) Постійний автоматичний контроль концентрації H_2S у повітрі робочої зони за допомогою стаціонарних та портативних газоаналізаторів;
- 2) Облаштування ефективної припливно-витяжної вентиляції у виробничих приміщеннях;
- 3) Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) під час виконання ремонтних чи аварійних робіт;
- 4) Технологічне очищення біогазу від сірководню перед його подачею на когенераційну установку для запобігання утворенню токсичних продуктів згоряння та корозії обладнання.

6. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) працівників.

Персонал, який виконує роботи з обслуговування та ремонту елементів біогазової установки, має бути безкоштовно забезпечений повним комплектом ЗІЗ відповідно до чинних норм:

- 1) Спецодяг (із антистатичних матеріалів);
- 2) Захисне взуття (із протиковзною підошвою та металевим підноском);
- 3) Захисні рукавиці (стійкі до хімічних та механічних впливів);
- 4) Захисні окуляри або щитки для захисту очей та обличчя;
- 5) Захисні каски;
- 6) Фільтрувальні респіратори або промислові протигази (для використання в аварійних ситуаціях).

7. Організаційні заходи безпеки.

Забезпечення безпечної експлуатації біогазового комплексу досягається шляхом чіткого виконання організаційних регламентів:

- 1) Проведення вступного, первинного та періодичних інструктажів з охорони праці;
- 2) Організація спеціального навчання та перевірки знань персоналу щодо правил роботи з вибухонебезпечними та токсичними газами;
- 3) Регулярний контроль герметичності технологічного обладнання та трубопроводів;
- 4) Своєчасне виконання графіків планово-попереджувальних ремонтів;
- 5) Розробка та затвердження Плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій;
- 6) Організація періодичних медичних оглядів працівників.

8. Заходи щодо охорони навколишнього середовища.

З метою мінімізації техногенного впливу біогазового комплексу на екосистему передбачено такі екологічні заходи (табл. 1.4):

Таблиця 1.4 – Екологічні заходи мінімізації впливу біогазового комплексу на екосистему:

Об'єкт контролю / захисту	Перелік обов'язкових заходів
Атмосферне повітря	Забезпечення повної герметизації процесу анаеробного зброджування. Організація регулярного моніторингу стану атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ).
Гідросфера та ґрунти	Повне виключення можливості потрапляння неочищених стоків чи біомаси у ґрунт та прилеглі водойми. Обов'язковий лабораторний контроль якості <u>дигестату (біодобрива)</u> перед його внесенням на сільськогосподарські угіддя.
Фізичні фактори	Систематичний контроль та мінімізація рівня шуму й вібрації, що виникають під час роботи технологічного обладнання (насоси, компресори, <u>когенераційні модулі</u>).

Біогазова установка належить до об'єктів підвищеної небезпеки через наявність метану та сірководню. Основними умовами безпечної експлуатації є герметичність технологічного обладнання, безперервний контроль концентрації газів, застосування вибухозахищеного електрообладнання, наявність систем аварійного захисту та належна підготовка персоналу. Виконання зазначених заходів дозволяє забезпечити безпечну роботу біогазового комплексу на ТОВ МВК «Єкатеринославський» та мінімізувати ризики для працівників і навколишнього середовища.

6.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні біогазу в когенераційній установці

Одним із важливих етапів оцінки екологічної безпеки біогазової установки є визначення обсягів викидів забруднюючих речовин, що утворюються під час спалювання біогазу в когенераційній установці. Отримані результати дозволяють оцінити вплив установки на атмосферне повітря та підтвердити екологічну доцільність впровадження біогазових технологій на ТОВ МВК «Єкатеринославський».

З попередніх розрахунків ми маємо кількість виходу газу на рік $V_{\text{річ}} = 3\,864\,438 \text{ м}^3/\text{рік}$, в ньому вміст метану становить $\text{CH}_4 = 60\%$, дізнаємось решту небезпечних речовин: оксидів азоту (NO_2), оксиду вуглецю (CO), діоксиду вуглецю (CO_2), неметанових органічних сполук та діоксиду сірки (SO_2).

Для сучасних когенераційних установок існує питомий викид кожної шкідливої речовини, для оксидів азоту він становить $e_{\text{NO}_2} = 2,5 \text{ г/м}^3$.

Річний викид визначається за формулою (3.5):

$$M_{\text{NO}_2} = (V_{\text{річ}} \times e_{\text{NO}_2}) / 10^6, \quad (3.5)$$

Де M_{NO_2} – річний викид оксидів азоту, т/рік;

$V_{\text{річ}}$ – річний обсяг спаленого біогазу, $\text{м}^3/\text{рік}$;

e_{NO_2} – питомий викид, г/м³.

Підставляємо значення:

$$M_{\text{NO}_2} = (3864438 \times 2,5) / 10^6 = 9,66 \text{ т/рік}$$

Таким самим чином розраховуємо річні виходи для інших небезпечних речовин.

Питомий викид оксиду вуглецю для газопоршневих установок $e_{\text{CO}} = 1,5$ г/м³. Тоді річний викид:

$$M_{\text{CO}} = (3864438 \times 1,5) / 10^6 = 5,80 \text{ т/рік}$$

Для біогазових когенераційних установок питомий викид становить $e_{\text{NMVOC}} = 0,5$ г/м³. Тоді річний викид:

$$M_{\text{NMVOC}} = (3864438 \times 0,5) / 10^6 = 1,93 \text{ т/рік}$$

Після очищення біогазу від сірководню вміст сірки є незначним. Для розрахунку приймаємо $e_{\text{SO}_2} = 0,10$ г/м³. Тоді річний викид:

$$M_{\text{SO}_2} = (3864438 \times 0,1) / 10^6 = 0,39 \text{ т/рік}$$

Під час спалювання біогазу утворюється вуглекислий газ.

Для біогазу з вмістом метану 60 % середнє утворення CO_2 становить 1,07 кг/м³. Тоді річний викид:

$$M_{\text{CO}_2} = (3864438 \times 1,07) / 10^6 = 4\,134\,949 \text{ кг/рік} \approx 4135 \text{ т/рік}$$

Слід зазначити, що даний CO_2 належить до біогенного походження і не збільшує загальний вуглецевий баланс атмосфери, оскільки утворюється в результаті розкладання органічної речовини, яка раніше поглинула цей вуглець із навколишнього середовища.

Аналіз отриманих результатів.

Результати розрахунків свідчать, що найбільшу частку викидів становить діоксид вуглецю, який є продуктом повного окиснення метану. Проте даний

вуглекислий газ має біогенне походження та не розглядається як додаткове джерело накопичення парникових газів.

Основними забруднюючими речовинами, що підлягають екологічному контролю, є оксиди азоту та оксид вуглецю. Їх загальний рівень є значно нижчим порівняно з викидами від спалювання викопного палива аналогічної енергетичної потужності.

7. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ

7.1 Витрати тепла на підігрів сировини

Однією з основних умов ефективної роботи біогазової установки є підтримання оптимальної температури процесу анаеробного зброджування. Для переробки органічних відходів ТОВ МВК «Єкатеринославський» прийнято мезофільний режим роботи метантенків з температурою бродіння 37 °С. Для забезпечення стабільного перебігу біохімічних процесів необхідно компенсувати теплові втрати та здійснювати підігрів свіжого субстрату, який надходить у реактор.

Маючи такі вихідні дані:

Загальний обсяг органічних відходів $Q_{\text{доб}} = 412,5 \text{ м}^3/\text{добу}$;

Густину субстрату $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

Вираховуємо масу субстрату $M = 412,5 \times 1000 = 412\,500 \text{ кг/добу}$.

Також нам відомі:

Температура свіжого субстрату $t_1 = 10 \text{ °С}$;

Температура бродіння $t_2 = 37 \text{ °С}$;

Різницею температур визначаємо $\Delta t = t_2 - t_1 = 27 \text{ °С}$.

Питома теплоємність субстрату має узагальнене значення 3,8-4,19 кДж/добу×°С, приймемо 4 кДж/добу×°С.

Розрахуємо витрату теплоти на підігрів субстрату. Необхідна кількість теплоти визначається за формулою (4.1):

$$Q = M \times c \times \Delta t, \quad (4.1)$$

Підставимо значення:

$$Q = 412\,500 \times 4,18 \times 27 = 46\,554\,750 \text{ кДж/добу або переводячи у кВт/год}$$

$$Q = 46\,554\,750 / 3600 = 12\,932 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Отже, для нагрівання свіжого субстрату до температури бродіння необхідно $Q_{\text{нагр}} = 12\,932 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$.

Також треба розуміти об'єми тепловтрат метантенків. Маємо загальний об'єм двох метантенків у розмірі $12\,000 \text{ м}^3$. Для добре утеплених реакторів питомі тепловтрати приймаються $q = 4 \text{ Вт/м}^3$. Тоді теплову потужність втрат визначимо за формулою (4.2):

$$P = q \times V, \quad (4.2)$$

$$P = 4 \times 12\,000 = 48\,000 \text{ Вт або ж } 48 \text{ кВт}$$

Тоді добовими витратами тепла в метантенках буде $Q_{\text{втр}} = 48 \times 24 = 1152 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$.

Також треба дізнатись загальну потребу в тепловій енергії для роботи метантенків для підтримки стабільного температурного режиму і життєдіяльності бактерій, які розщеплюють органічні відходи та виробляють біогаз. Без постійного підігріву біологічний процес анаеробного бродіння зупиниться. Сумарна потреба визначається за формулою (4.3):

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{втр}}, \quad (4.3)$$

$$Q_{\Sigma} = 12\,932 + 1152 = 14\,084 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Річною потребою буде значення:

$$Q_{\text{річ}} = 14\,084 \times 365 = 5\,140\,660 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік або ж } 5141 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$$

У попередньому розділі було встановлено, що когенераційна установка виробляє $Q_{\text{ког}} = 28\,586$ кВт·год/добу теплової енергії. Порівняємо значення виробленої енергії та потреби в ній:

$$Q_{\text{ког}} = 28\,586 > Q_{\Sigma} = 14\,084$$

Ми бачимо, що для забезпечення роботи біогазової установки використовується частина теплової енергії, що виробляється когенераційною установкою під час спалювання біогазу. Ця частка становить:

$$\eta = (14\,084/28\,586) \times 100 = 49,3\%$$

Отже, приблизно 49 % виробленого тепла використовується для підігріву субстрату та компенсації тепловтрат, а решта 51% = 14 502 кВт·год/добу може бути використана на вибір для:

- опалення виробничих приміщень ферми;
- підігріву води для технологічних потреб;
- опалення адміністративних будівель;
- сушіння органічних добрив;
- забезпечення потреб інших об'єктів підприємства.

Проведений тепловий розрахунок показав, що для підтримання мезофільного режиму анаеробного зброджування на біогазовому комплексі ТОВ «МБК «Єкатеринославський» необхідно 14 084 кВт·год теплової енергії на добу або 5,14 ГВт·год на рік. Джерелом тепла є когенераційна установка потужністю 1 МВт, яка виробляє достатню кількість теплової енергії для забезпечення технологічного процесу та додаткових потреб підприємства. Це дозволяє повністю відмовитися від використання зовнішніх джерел тепlopостачання та підвищити енергоефективність біотехнологічної лінії.

ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було виконано комплексний аналіз технологічних, розрахункових та екологічних аспектів функціонування системи поводження з органічними відходами з одержанням біогазу та використанням отриманого енергетичного потенціалу. У результаті дослідження встановлено, що запропонована технологічна схема забезпечує ефективне перетворення сировини у біогаз із переважним вмістом метану, а також дозволяє отримувати стабільний за якістю енергетичний ресурс для подальшого використання в господарських потребах.

Розрахунками підтверджено, що обрані параметри процесу є технічно обґрунтованими та взаємопогодженими. Визначено основні показники матеріального і теплового балансу, обсяги сировини, вихід біогазу, потребу в енергії для підтримання процесу та можливості її компенсації за рахунок одержаного газового палива. Це свідчить про працездатність і енергетичну доцільність запропонованого рішення.

Окрему увагу приділено екологічному ефекту впровадження технології. Аналіз показав, що перероблення відходів у біогазовій установці сприяє зменшенню викидів парникових і шкідливих газів, зниженню навантаження на довкілля та більш раціональному використанню вторинних ресурсів. Таким чином, реалізація розробленої схеми має не лише виробниче, а й природоохоронне значення.

Також встановлено, що запропоновані технічні та організаційні рішення можуть бути використані для підвищення ефективності утилізації органічної сировини, скорочення витрат на традиційні енергоресурси та покращення загальних показників енергоефективності господарства. У підсумку можна зробити висновок, що мету дипломної роботи досягнуто, а поставлені завдання виконано в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про відходи: Закон України від 05.03.1998 р. № 187/98-ВР (зі змінами та доповненнями). Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36–37. Ст. 242.
2. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV (зі змінами та доповненнями). Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. Ст. 155.
3. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII (зі змінами та доповненнями). Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. Ст. 546. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Кучерук І. С. Перспективи розвитку біогазових технологій в Україні. Промислова теплотехніка. 2013. Т. 35, № 4. С. 75–83.
6. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А. Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок для тваринницьких господарств. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 212(1). С. 144-151. Дегтярьов В. В., Книш С. І.
7. Екологічна безпека тваринницьких комплексів при використанні біотехнологій утилізації відходів. Екологічні науки. 2019. № 2 (25). С. 44-49. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалива в Україні: монографія. Київ: Аграрна наука, 2008. 464 с.
8. Перспективи виробництва біогазу з гною великої рогатої худоби в Україні. Аналітична записка БАУ. 2014. № 10. 32 с. Кучерук І. С., Гелетуха Г. Г., Матвєєв Ю. Б.
9. Модернізація ліній видалення та утилізації гною на молочно-товарних фермах. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2018. Вип. 22. С. 112–119. Мельник В. Й., Шкварук С. В.
10. Біогазові установки та технології: навчальний посібник. Київ: ЦУЛ, 2021. 240 с. Сукач М. К., Смирнов В. М.

11. Екологічні та економічні аспекти утилізації відходів сільського господарства. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Економіка АПК. 2017. № 24(1). С. 15–21. Сохнич А. Я., Богіра М. С.
12. Анаеробна переробка органічних відходів як чинник підвищення енергоефективності АПК. Енергетика і автоматика. 2020. № 3. С. 58–67. Сичов М. В.
13. Оцінка ресурсного потенціалу біомаси в Україні за регіонами / Г. Г. Гелетука та ін. Відроджувана енергетика. 2022. № 1. С. 48–57.
- Яцик А. В., Грищенко Ю. М., Волкова Л. А., Пашенюк І. А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник. – Київ: Генеза, 2007. – 360 с.
14. Сафранов Т. А. Екологічні основи природокористування: навч. посібник (2-ге вид., стереотип.). – Львів, 2004. – 248 с.
15. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромашенка, В. А. Сташука. – Київ, 2009. – 620 с.
16. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Новікова Г. В. та ін. Ресурсозберігаючі технології хімічної меліорації ґрунтів в умовах земельної реформи / за ред. Р. С. Трускавецького, С. А. Балюка. – Київ, 2000. – 70 с.
17. Організація сільськогосподарського використання земель на ландшафтно-екологічній основі / за заг. ред. П. Г. Казьміра. – Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2009. – 254 с.
18. Шматко В. Г., Нікітін Ю. В. Екологія і організація природоохоронної діяльності: навч. посібник (2-ге вид., стереотип.). – Київ: КНТ, 2008. – 304 с.
19. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. та ін. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 4. Технології поводження з відходами харчових виробництв: підручник. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 520 с. – <https://lib.dsau.dp.ua/book/182105>.

20. Сухенко Ю. Г., Серьогін О. О., Сухенко В. Ю., Рябоконт Н. В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: підручник / за ред. О. О. Серьогіна. – Київ: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 338 с.
21. Крусір Г. В., Шевченко Р. І., Русєва Я. П. та ін. Технології поводження з відходами харчових виробництв: навч. посібник. – Одеса: Астропринт, 2014. – 400 с.
22. Відходи та безвідходне виробництво в харчовій промисловості / упоряд. І. М. Мельничук. – Київ: Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка, 2021. – 110 с. – <http://surl.li/rzgwh>.
23. Токарчук Д. М., Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В. Стратегія поводження з відходами аграрних підприємств: раціональне поводження з відходами рослинництва, відходами тканин тварин, тваринним гноєм, агрохімічними відходами. Ефективна економіка. 2021. № 12. – DOI: 10.32702/2307-2105-2021.12.104. – <http://surl.li/rzgwxw>.
24. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Понятійний апарат категорії сільськогосподарські відходи, їх класифікація та перспективи подальшого використання для виробництва біоенергії. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2020. № 3. – С. 23-38. – DOI: 10.37128/2411-4413-2020-3-2.
25. Безвідходні технології харчових виробництв: підручник / за ред. С. І. Приліпка та ін. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2021.
26. Рябець О. В., Поліщук С. В. Екологія харчових виробництв: навчальний посібник. – Київ: НУХТ, 2020.
27. Якименко М. О., Бондар О. С. Інженерна екологія в харчовій промисловості: навч. посібник. – Одеса, 2022.
28. Гомеля М. Д., Грабітченко В. М. Технології захисту навколишнього середовища. Очищення стічних вод: підручник. – Київ: Кондор, 2019. – 450 с.
29. Шевчук В. Я. Екологічна модернізація виробництва: концепція, стратегія, технологічні рішення. – Київ: Геопринт, 2021. – 284 с.

30. Захист навколишнього середовища: навч. посіб. / В. М. Шмандій та ін. – Кременчук: КНУ, 2020. – 312 с.

31. Смирнов В. О., Білецький В. С. Технології захисту навколишнього середовища в гірництві та переробці мінеральної сировини. – Львів: Новий Світ-2000, 2022. – 340 с.

32. Крупецька Ю. О. Використання модифікованих сорбентів для глибокого очищення стічних вод від сполук важких металів. Екологічні науки. 2023. № 2(47). – С. 112-117.

33. Мальований М. С., Сакалова Г. В. Комплексні технології переробки багатокомпонентних промислових стоків. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. № 1. – С. 45-56.

34. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. та ін. Технології захисту навколишнього середовища: підручник. Ч. 1. Захист атмосфери. – Херсон: Олді-плюс, 2019. – 432 с. – <https://lib.dsau.dp.ua/book/182102>.

35. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. та ін. Технології захисту навколишнього середовища: підручник. Ч. 2. Методи очищення стічних вод. – Херсон: Олді-плюс, 2019. – 298 с. – <https://lib.dsau.dp.ua/book/182103>.

36. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В. та ін. Технології захисту навколишнього середовища: підручник. Ч. 3. Сталій менеджмент та ресурсна ефективність. – Херсон: Олді-плюс, 2019. – 320 с. – <https://lib.dsau.dp.ua/book/182104>.