

**Міністерство освіти і науки України**  
**Одеський національний технологічний університет**

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему Проектування біотехнологічних заходів захисту довкілля на**  
**птахофабриці «Відрadne»**

Здобувача Волонтірова М.В.

4 курсу ТЗС-447 групи

Керівник доцент Бондар С.М.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2024 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса - 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри к-т біол. наук, доц.

\_\_\_\_\_ **О.Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

\_\_\_\_\_ Волонтірову Михайлу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проектування біотехнологічних заходів захисту довкілля на птахофабриці «Відрадне»»

Затверджена наказом ОНТУ від “14” 06 2023 року, наказ № 225-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи \_31.05.24.

3. Вихідні дані до роботи \_поточний стан та основні аспекти впливу на довкілля, фактори, які зазнають впливу, матеріали переддипломної практики

4. Перелік питань, які потрібно розробити оцінити вплив на довкілля від підприємства, запропонувати заходи щодо забезпечення нормативного стану навколишнього середовища, навести обґрунтування природоохоронних заходів

5. Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень) ситуаційні схеми, таблиці та схеми, що відображають хід виконання дипломної роботи

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Обґрунтування заходів захисту довкілля від впливу підприємства	Бондар С.М., к.т.н, доц.	15.03	15.05
2. Розробка біотехнологічного методу утилізації курячого посліду методом метанового бродіння	Бондар С.М., к.т.н, доц.	24.04	15.05
3. Охорона праці та ЦЗ	Бондар С.М., к.т.н, доц.	17.04	15.05
4. Економічна оцінка	Лободська Л.Л., к.т.н, доц.	26.04	15.05

7. Дата видачі завдання 15.03.2024 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Бондар С.М.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Волонтиров М.В.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство	24.04.24	
2	Оцінка впливу підприємства на компоненти довкілля	24.04.24	
3	Характеристика основного забруднювача довкілля - курячого посліду та способів його утилізації	24.04.24	
4	Загальна характеристика метанового бродіння та біогазової установки	15.05.24	
5	Розрахунок якісних показників сировини та теплоти згорання біогазу	15.05.24	
6	Охорона праці	15.05.24	
7	Оформлення результатів виконаної роботи	<b>31.05.24</b>	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Волонтиров М.В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Бондар С.М.

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Волонтиров М.В.

## Анотація

Розрахунково-пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи:  
стор. – 72, рис. – 1, табл. – 11, формул – 51, література – 36.

**Тема:** Проектування біотехнологічних заходів захисту довкілля на птахофабриці «Відрадне».

**Мета:** проаналізувати вплив на довкілля птахофабрики «Відрадне» та розробити відповідні біотехнологічні заходи захисту.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**: схарактеризувати основні технологічні процеси підприємства; описати фактори, що піддаються впливу від діяльності підприємства; провести оцінку за видами та кількістю відходів, викидів (скидів), забруднень води, повітря, ґрунту, шумового, теплового, радіаційного забруднення, техногенних факторів, а також здійснити оцінку ризику для здоров'я населення, що виникає у результаті провадження діяльності; описати та здійснити розрахунок показників біотехнологічного методу утилізації курячого посліду методом метанового бродіння; охарактеризувати заходи охорони праці на підприємстві; здійснити економічну оцінку природоохоронного заходу.

Випускна кваліфікаційна робота складається з наступних **розділів**:

У першому розділі описані загальні відомості про підприємство та технологічні процеси, проаналізовано вплив підприємства на компоненти довкілля, схарактеризовано основний забруднювач довкілля – курячий послід та запропоновано способи його утилізації.

У другому розділі описано біотехнологічний метод утилізації курячого посліду методом метанового бродіння, розраховано якісні показники сировини для виробництва біогазу.

У третьому розділі схарактеризовано заходи щодо охорони праці на об'єкті планованої діяльності.

У четвертому розділі наведена економічна оцінка запропонованого заходу.

**Практична цінність** результатів роботи полягає в тому, що проаналізовано вплив підприємства на компоненти довкілля та запропоновано ефективний природоохоронний захід задля збереження довкілля.

**Ключові слова:** вплив на довкілля, природоохоронні заходи, біотехнологічні заходи, птахофабрика, біогаз, метанове бродіння.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ВІД ВПЛИВУ ПІДПРИЄМСТВА.....	8
1.1. Загальні відомості про підприємство та технологічні процеси.....	8
1.2. Оцінка впливу підприємства на компоненти довкілля.....	11
1.3. Характеристика основного забруднювача довкілля- курячого посліду та способів його утилізації.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ УТИЛІЗАЦІЇ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ МЕТОДОМ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ.....	27
2.1. Загальна характеристика метанового бродіння.....	27
2.2. Будова та принцип роботи біогазової установки.....	28
2.3. Визначення основних параметрів біогазової установки.....	30
2.4. Розрахунок якісних показників сировини для виробництва біогазу....	36
2.5. Розрахунок теплоти згорання біогазу та інших газоподібних біопалив	44
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54
3.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів.....	54
3.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту.....	54
3.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.....	55
3.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.....	57
3.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації.....	58
3.6. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва.....	60
3.7. Забезпечення пожежовибухонебезпеки.....	61
РОЗДІЛ 4 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	64
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРИРОДООХОРОННОГО ЗАХОДУ.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	70

Посада.	П.І.Б.	Підпис	Дата	<i>ВКР. 183. П.І.П. ЕВтаПТ. ТЗС-447</i>			
Здобувач	Волонтиров М.В.						
Керівник.	Бондар С.М.			<i>Розрахунково-пояснювальна записка</i>	Стадія	Аркуш	Аркушів
Зав. каф.	Гаркович О.Л.				УП2	5	72
				<i>ОНТУ</i>			

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Птахівництво в Україні стало однією з найбільш інтенсивних і динамічних галузей сільськогосподарського сектору. Ця галузь має потенціал значно збільшити виробництво дієтичних висококалорійних продуктів, таких як м'ясо і яйця, в короткі терміни. Головна мета - забезпечити населення необхідною кількістю харчових продуктів для здорового харчування.

У птахів процес травлення завершується утворенням посліду. На великих фермах цей послід накопичується у великих кількостях, часто до десятків тонн. Серед усіх природних добрив, які використовуються для добрив у ґрунт, пташиний послід (зокрема, курячий) є найціннішим. Він містить більше азоту, фосфору і калію порівняно з гноєм від домашніх тварин.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 808 від 28.08.2013 року, тваринницькі комплекси, де утримуються птахи (курей-несучок понад 60 тисяч та бройлерів понад 85 тисяч), вважаються об'єктами, які представляють підвищену екологічну небезпеку.

Гній може бути перероблений за допомогою кількох методів, включаючи метанове бродіння для виробництва біогазу, довготривале компостування для створення органічних добрив, термічне висушування для зменшення вологості, та біологічний розклад за допомогою спеціальних мікроорганізмів.

Стічні води від птахівницьких комплексів становлять серйозну загрозу для водних ресурсів. Основна проблема полягає у неповному очищенні від забруднень, що при попаданні до річок та підземних вод забруднюють їх токсичними речовинами та патогенними мікроорганізмами.

Птахофабрики є значним джерелом викидів у атмосферу. Аміак і сірководень утворюються під час розкладання органічних речовин у посліді та підстилці. Ці сполуки викликають неприємний запах, який часто становить проблему для мешканців прилеглих населених пунктів. Виділення аміаку спричиняється мікрофлорою, яка розкладає сечовину, при цьому також утворюється вуглекислий газ.

У світі існують біоенергетичні установки для отримання біогазу(паливо) з

курячого посліду. Цей напрямок утилізації органічних відходів вважається найбільш перспективним і для Відраденської птахофабрики, яка сьогодні є суттєвим джерелом забруднення атмосферного повітря, гідросфери та літосфери.

**Мета випускної кваліфікаційної роботи:** проаналізувати вплив на довкілля птахофабрики «Відрадне» та розробити відповідні біотехнологічні заходи захисту.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі **завдання:**

- схарактеризувати основні технологічні процеси підприємства;
- описати фактори, що піддаються впливу від діяльності підприємства;
- провести оцінку за видами та кількістю відходів, викидів (скидів), забруднень води, повітря, ґрунту, шумового, теплового, радіаційного забруднення, техногенних факторів, а також здійснити оцінку ризику для здоров'я населення, що виникає у результаті провадження діяльності;
- описати та здійснити розрахунок показників біотехнологічного методу утилізації курячого посліду методом метанового бродіння;
- охарактеризувати заходи охорони праці на підприємстві;
- здійснити економічну оцінку природоохоронного заходу.

**Об'єкт дослідження:** птахофабрика «Відрадне».

**Предмет дослідження:** біотехнологічний метод утилізації курячого посліду птахофабрики методом метанового бродіння.

**Практична цінність** результатів роботи полягає в тому, що проаналізовано вплив підприємства на компоненти довкілля та запропоновано ефективний природоохоронний захід задля збереження довкілля.

**РОЗДІЛ 1**  
**ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ВІД ВПЛИВУ**  
**ПІДПРИЄМСТВА**

**1.1. Загальні відомості про підприємство та технологічні процеси**

Птахофабрика «Відрадне» розташована за адресою: Запорізька обл., Запорізький р-н, с. Відрадне, вул. Перемоги, 3.

Генеральний директор - Сороченко Віктор Володимирович

Кількість працівників: 75

ПАТ "Відрадне" має багату історію, яка почалася у 1965 році зі створення птахорадгоспу "Відраденський". На сьогоднішній день підприємство займається виробництвом та продажем курячих яєць, розведенням і продажем курей-несучок, а також займається рослинництвом. Поголів'я курей на підприємстві становить 15 тисяч голів.

Птахофабрика "Відрадне" використовує обладнання, яке відповідає світовим стандартам якості. У раціоні курей використовуються високоякісні складники, такі як зерно, кукурудза, трав'яна мука, вітаміни та біодобавки. Яйця під брендом "Відрадне" є ідеальними для різних груп населення: дітей, людей похилого віку, осіб, які дотримуються дієти, та всіх, хто прагне здорового та екологічного способу харчування [1].

Промислова технологія виробництва яєць у спеціалізованих господарствах ґрунтується на кількох основних принципах:

1. Цілорічне і рівномірне виробництво яєць, яке відповідає технологічному графіку, забезпечує оптимальне використання всіх виробничих потужностей.
2. Використання високопродуктивної гібридної птиці допомагає досягти більш високої продуктивності.
3. Годівля курей повноцінними сухими комбікормами забезпечує необхідний рівень харчування.
4. Зберігання яєць протягом всього року, розвиток пташенят та додавання нових птахів у великі групи одного віку сприяє стабільному збереженню кількості

птахів.

5. Збереження птахів у спеціальних безвіконних пташниках різних типів, що забезпечують автоматизацію процесів, сприяє ефективному використанню праці та підвищує їх продуктивність.

6. Створення належних гігієнічних умов для птахів, що включає контроль за температурою, вологістю, обміном повітря та світловим режимом, сприяє збереженню здоров'я та комфорту птахів.

7. Забезпечення ефективної ветеринарної профілактики, включаючи санацію приміщень, проведення імунізації та інші заходи, допомагає зберегти здоров'я птахів.

Оснoву технологічних схем становить вирощування молодняку в кліткових батареях, таких як БКМ-3, КБУ-3, R-15 і т. д. Ці кліткові системи дозволяють вирощувати молодняк від народження до 17 тижнів без потреби у пересадках. Ремонтних молодок потрібно переводити в приміщення для несучок не пізніше, ніж у 17 тижнів віку [2].

У промисловому виробництві харчових яєць птахофабрика із замкнутим циклом виробництва має такі цехи [3]:

1. Батьківського стада.
2. Інкубації яєць.
3. Вирощування молодняку.
4. Промислових несучок.
5. Сортування і пакування яєць, яйцесховище.
6. Забою і обробки птиці.
7. Доробки кормів, кормоцех.
8. Переробки відходів виробництва.
9. Зоотехнічна або зооветлабораторія.
10. Відгодівлі півників (при потребі).

Для вирощування молодого ремонтного птаха, такого як курчата, використовують різноманітні комплекти обладнання. Наприклад, такі як КРМ різних модифікацій, К-П-21, або комплекти для вирощування бройлерів, такі як

ЦБК і ОПБ. У цих комплектах зазвичай є бункери для сухих кормів, кормороздавачі, системи напування птиці, електробрудери та електрообладнання для управління технологічними процесами.

При вирощуванні пташенят на підлозі часто використовують різноманітні матеріали для підстилки, такі як солом'яна нарізка, дерев'яна стружка, тирса або лущиння від соняшникового насіння. У перших днях часто тирсу насипають зверху солом'яною нарізкою, щоб уникнути того, що пташенята її з'їдають. Приміщення для вирощування молодняку зазвичай поділяють на секції, обладнані горизонтальними навісами на висоті 10 см від підлоги. У кожній секції встановлюють електробрудер для теплового забезпечення пташенят. Посадку проводять, коли температура під брудером досягне необхідного рівня.

Перед початком вирощування курчат приміщення слід підготувати наперед. Незалежно від методу вирощування важливо, щоб приміщення було чистим, сухим і мав гарну вентиляцію. Курчат для вирощування рекомендується отримувати в день їх вилуплення, а саме через 8-12 годин після виходу з інкубатора. Затримка їх в приміщенні понад цей час може призвести до збільшення втрат і погіршення їхнього розвитку під час вирощування [4]

Ефективність виробництва яєць значно залежить від генетичного потенціалу курей, які використовуються на птахівничих фермах. На великих промислових підприємствах з високим рівнем технологій виробництво яєць ґрунтується на використанні високопродуктивних кросів, які відібрані за результатами зарубіжної селекції.

В Україні для вирощування курей використовують кілька видів кросів з білими яйцями. Серед них є такі популярні: Ломанн LSL і Ломанн Сенді з Німеччини, Хайсекс білий з Нідерландів, Хай-Лайн W-98 з США та Беккок Б 300 з Франції.

Виробництво яєць відбувається без зупинок протягом усього року, і для забезпечення стійкого рівня виробництва стадо курей-несучок регулярно оновлюється протягом року відповідно до певного графіку.

На птахофабриці встановлено комплекти обладнання з клітковими

батареями БКН-3, БКН-3А, ОБН, ККТ.

Яйцесховище – це сухе та чисте приміщення з ефективною системою примусової вентиляції. Температура в ньому зберігається в діапазоні від 8 до 12 градусів Цельсія, а відносна вологість повітря складає 75-80%. Важливо уникати зберігання будь-яких пахучих речовин в яйцесховищі.

## 1.2. Оцінка впливу підприємства на компоненти довкілля

**Вплив на гідросферу.** Актуальною проблемою підприємства є забруднення гідросфери недоочищеними стічними водами птахівничих підприємств.

Птахофабрика викидає стічні води з високим рівнем забруднення, що включає жир, кров, мийні засоби, пух і пір'я, солі, не розчинні мінеральні речовини та залишки кормів [5]. Хімічний склад стічних вод підприємства наведений у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад стічних вод підприємства

Компонент стічних вод	Значення
Сухий залишок, мг/ дм <sup>3</sup>	1600
БСК <sub>повн</sub> , мг/ дм <sup>3</sup>	1700
ХСК, мг /дм <sup>3</sup>	2050
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	1400
ПАР, мг/дм <sup>3</sup>	до 250
Хлориди, мг/ дм <sup>3</sup>	900
Са <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	85
Фосфор, мг/дм <sup>3</sup>	70
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	30
Жири, мг/дм <sup>3</sup>	1250

Суспендовані речовини впливають на прозорість водного середовища, змінюючи його температуру та кут заломлення сонячного променя, що впливає на екосистему водойми. Крім того, вони можуть прискорювати процес утворення осаду та сприяти накопиченню патогенних мікроорганізмів на поверхні глини та інших частинок, а також розносити їх по воді.

Висока кількість органічних сполук, фосфору і азоту призводить до зниження

рівня кисню в воді, погіршення її якості та зменшення біорізноманіття рибного світу. Після потрапляння до води, сполуки фосфору включаються в природні біохімічні процеси, такі як кругообіг, і практично не видаляються. При надмірному накопиченні фосфору у водоймах відбувається їхнє забруднення, що викликає евтрофікацію [5].

Швидке розмноження планктону у верхньому шарі води веде до зниження кисню в глибинних шарах, що сприяє накопиченню розчиненого заліза, марганцю, амонійного азоту та сірководню. Внаслідок масового відмирання синьо-зелених водоростей утворюються біотоксини, що призводить до загибелі водних організмів та погіршення якості води. Наявність азоту у різних формах свідчить про розклад органічних речовин у забруднених стічних водах. Це призводить до погіршення властивостей води, забруднення водойм, порушення процесів самоочищення та погіршення гідрохімічного стану.

Зворотні води з птахофабрик, становлять особливу проблему, оскільки вони впливають на водний баланс природної водойми, що є життєво важливим для всього екосистеми в регіоні. Щоб уникнути негативних наслідків для навколишнього середовища, зокрема для водних ресурсів, необхідно використовувати сучасні технології очищення стічних вод та обробки осадів, які утворюються на птахофабриці. Також важливо дотримуватися всіх санітарних та ветеринарних стандартів згідно з відповідними законодавчими актами [5].

**Вплив на атмосферу.** На території підприємства розташована котельня. На підприємстві планується встановлення парового двобарабанного котла типу КЕ (марка КЕ-2,5 С), що працює на твердому паливі, та виробляє більшу кількість пари, а саме 2,5 т/год. Двобарабанний котел типу КЕ на твердому паливі Бійського котельного заводу - котел з природною циркуляцією із шаровими механічними топками призначений для вироблення насиченого або перегрітого пару, який використовується для потреб промислових підприємств, а також для систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Детальніша характеристика даного котлоагрегату наведена в таблиці 2.

Котлоагрегат працює на твердому виді палива, а саме на кам'яному Донецькому вугіллі. Частка палива, яка горить, містить органічні компоненти, що

складаються з вуглецю, водню, кисню, органічної сірки і неорганічної частини.

Таблиця 2 – Технічні характеристики котла марки КЕ -2,5 С

Паропровідність, т/ч	2,5
Тиск пари на виході з котла, Мпа	1,4
Вид розрахункового паливу	донецький кам'яне вугілля
Теплота згоряння палива, МДж/кг	22
Вміст в робочій масі, %	
зола	21,8
волога	13
Витрати палива, кг/ч	311
Тип топкового пристрою	ЗП РПК-2
Поверхня площі дзеркала горіння, м <sup>2</sup>	2,74
Об'єм топкової камери, м <sup>3</sup>	10,47
Теплонапруга обсягу топкової, кВт/м <sup>3</sup>	183
Радіаційна площа поверхні нагрівання, м <sup>2</sup>	19,12
Температура газів на виході їх топкової камери, °С	720
Площа поверхні нагрівання конвективного пучка, м <sup>2</sup>	66,5
Температура газів за котлом, °С	307
Довжина циліндричної частини барабанів, мм	3490
Тип чавунного водяного економайзера	ЕП-2-142
Площа поверхні нагрівання чавунного економайзера, м <sup>2</sup>	141,6
Температура відхідних газів, °С	160
КПД котла, %	83,3
Газовий опір котла, Па	160
Розміри котла, мм	
довжина	3795
ширина	2580

Негорюча частина палива, відома як мінеральна частина, містить в собі вологу і золу. Під час спалювання основна частина мінеральної частини перетворюється на летючу золу, яка виноситься димовими газами. [6].

Зольність кам'яного донецького вугілля 28%.

Кам'яне вугілля виникає в результаті глибокого перетворення решток рослин, таких як деревоподібні папороті, хвощі, плауни, і ранні голонасінні рослини. Це осадова порода, що містить в собі велику кількість вуглецю у вигляді високомолекулярних поліциклічних ароматичних сполук, а також води, летких речовин та невеликих кількостей мінеральних домішок. Під час згоряння вугілля утворюється зола [7].

Розрахункова характеристика твердого палива наведена у таблиці 3.

Для розрахунків потрібно чимало даним по котлоагрегату та по вугіллю.

Дані приведені в таблицях 4, 5, 6, 7, 8

Таблиця 3 – Розрахункова характеристика твердого палива

<b>Басейн, район</b>	<b>Донецький</b>
<b>Родовище, тип палива</b>	
<b>Марка, клас</b>	
Горюча маса, %	
$C^r$	79
$H^r$	5,5
$N^r$	1,5
$O^r$	9,1
$S_0^r$	4,9
Робоча маса, %	
$W^p$	10
$A^p$	23
$S_k^p$	2
$S_0^p$	1,2
$C^r$	55,2
$H^p$	3,8
$N^p$	1
$O^p$	5,8
Максимальний вміст, %	
$W_M^p$	12
$A_C^M$	37,5
$V^r$	40
$Q_H$ , МДж/кг	20,47
Нелеткий залишок	Спечений
Плавкість золи, °С	
$t_1$	1050
$t_2$	1200
$t_3$	1280
Кл.о.	1,25
Об'єм повітря (при $\alpha=1$ ) $V_0$ , м <sup>3</sup> /кг	6,26
Обсяг продуктів згоряння	
$V_{RO_2}$	1,13
$V_{N_2}^0$	4,97
$V_{H_2O}^0$	0,64
$V_r^0$	6,74

Таблиця 4 – Характеристика палива (при нормальних умовах)

Назва палива	A, %	S, %	$Q^H$ , МДж/кг;
Вугілля			
ГР	28,0	3,5	20,47

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта  $\chi$  в залежності від типу топки і палива

Тип топки	Топливо	$\chi$
-----------	---------	--------

З нерухомою решіткою і ручним закидом	Буре та кам'яне вугілля	0,0023
---------------------------------------	-------------------------	--------

Таблиця 6 – Середня експлуатаційна ефективність апарату пиловловлення та газоочищення газів, що відходять від котельні

Апарат, установка	Ефективність улавлювання, $\eta_T$ , %
Батарейні циклони типу БЦ-2	85

Таблиця 7 – Характеристика топки котла малої напруги

Тип топки і котла	Паливо	$q_3$ , %	$q_4$ , %
З нерухомою решіткою і ручним закидом	кам'яне вугілля	2	7

Таблиця 8 – Коефіцієнт  $K_{NO_2}$  для продуктивності до 30 т/год

(1 кал = 4,1868 Дж, 1 т/год = 0,641 Гкал/год = 743,6 кВт)

Паропроductивність			Значення $K_{NO_2}$
			Кам'яне вугілля
т/ч	Гкал/ч	кВт	
2,5	1,60	1860	0,21

**Розрахунки викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива.**

Розрахунки виконувалися згідно Методики розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД – 86

Дані для розрахунків:

Н труби – 25 м;

D труби – 0.5 м;

$\Delta T$  – 170 °C;

**Розрахунок маси.** Викид сажі в димових газах (M, г/с), розраховуємо за формулою

$$M_T = A * m * \xi * \left(1 - \frac{\eta_T}{100}\right), \quad (1.2.1)$$

A – зольність палива, %;

m – кількість витраченого палива, г;

$\xi$  – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує частку уносимої з димовими газами летючого попелу, залежить від типу топки і палива;

$\eta_T$  - ефективність золоуловлювача,%,.

Звідси:

$$M_T = (28/100) * 86,39 * 0,0023 * (1 - 85/100) = 0,0083 \text{ (г/с)}$$

Викид оксиду вуглецю (M, г/с), розраховуємо за формулою

$$M_{CO} = C_{CO} * m * \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) * 10^{-3}, \quad (1.2.2.)$$

$q_4$  - втрати теплоти внаслідок механічної неповноти згоряння,%,;

$m$  - кількість витраченого палива, г/с;

$C_{CO}$  - вихід оксиду вуглецю при спалюванні палива, г/кг, розраховуємо за формулою

$$C_{CO} = q_3 * R * Q^H, \quad (1.2.3)$$

$q_3$  - втрати теплоти внаслідок хімічної неповноти згоряння палива,%,;

$R$  - коефіцієнт, що враховує частку втрати теплоти внаслідок хімічної неповноти згоряння палива, обумовлений наявністю в продуктах згоряння оксиду вуглецю,  $R = 1$  - для твердого палива, ;

$Q_n$  - нижча теплота згоряння натурального палива, МДж / кг.

Звідси:

$$M_{CO} = \frac{2\%}{100} * 1 * 20.47 * 86.39 * \left(1 - \frac{7\%}{100}\right) * 10^{-3} = 0.033 \text{ (Г/с)}$$

Викид діоксиду азоту (M, г/с), розраховуємо за формулою

$$M_{NO_2} = m * Q_n * K_{NO_2} * (1 - \beta) * 10^{-3}, \quad (1.2.4)$$

де  $K_{NO_2}$  - параметр, що характеризує кількість оксидів азоту, утворюваного на один ГДж тепла, кг / ГДж;

$\beta$  - коефіцієнт, що залежить від ступеня зниження викидів оксидів азоту в результаті застосування технічних рішень. для котлів продуктивністю до 30 т / год  $\beta = 0$ .

Звідси:

$$M_{NO_2} = 86.39 * 20.47 * 0.21 * (1 - 0) * 10^{-3} = 0.37 \text{ (Г/с)}$$

Викид (M, г/с) оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою

$$M_{SO_2} = 0.02 * m * S * (1 - \eta'_{SO_2}) * (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (1.2.5)$$

S - вміст сірки в паливі, %,

$\eta'_{SO_2}$  - частка оксидів сірки, що пов'язуються летючої золою палива,  $\eta'_{SO_2}$  для вугілля - 0,1;

$\eta''_{SO_2}$  - частка оксидів сірки, що вловлюються в золоуловлювачів для сухих золоуловлювачів приймається рівною 0.

Звідси:

$$M_{SO_2} = 0.02 * 86.39 * \frac{3.5}{100} * (1 - 0.1) * (1 - 0) = 0.05 \text{ (Г/с)}$$

Висновок: Підрахувавши масові викиди забруднюючих речовин при спалюванні твердого палива, можна виразити, що найменший викид у атмосферне повітря буде у сажі (0,0083 г/с), а найбільший у NO<sub>2</sub> (0,37 г/с).

**Концентрація у приземному шарі.** Концентрація сажі ( $C_M$ , мг/м<sup>3</sup>), в димових газах розраховується за формулою

$$C_M = \frac{A * M * F * m * n * \eta}{H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}}, \quad (1.2.6)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери; M – масовий викид забруднюючої речовини, г/с; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує агрегатний стан речовини і швидкість його осідання, (гази F=1, тверді речовини F=3); n, m – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші;  $\eta$  – коефіцієнт рельєфу місцевості, (рівнини  $\eta = 1$ ); H - висота джерела викиду над поверхнею, м; Q – об'ємна витрата газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – різниця температур між газоповітряною сумішшю і атмосферним повітрям, °C.

Значення коефіцієнтів m і n визначаються в залежності від  $U_M$ ,  $U'_M$ , і  $f_e$ :

1. Швидкість виходу (W, м/с) , для газоповітряної суміші розраховується за формулою

$$W = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}, \quad (1.2.7)$$

Q – кількість газів, що виділяються при згорянні 1 кг вугілля, м<sup>3</sup>/кг, розраховуємо за формулою:

$$Q = V_{O_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_1, \quad (1.2.8)$$

$D$  – діаметр джерела викиду забруднюючих речовин, м.

Звідси:

$$Q = 1.13 + 4.97 + 0.64 + 6.74 = 13.48 \text{ (м}^3\text{/кг)}$$

Тоді, за формулою

$$W = \frac{4 * 13,48}{3,14 * 0,5^2} = 68,69 \text{ (м/с)}$$

2. Додатковий параметр

$$f = 1000 * \frac{W * D}{H^2 * \Delta T'} \quad (1.2.9)$$

$$f = 1000 * \frac{68.69 * 0.5}{25^2 * 170} = 0.0003$$

3. Додатковий параметр

$$U_{ж} = 0.65 * \sqrt[3]{\frac{Q * \Delta T}{H}}, \quad (1.2.10)$$

$$U_{ж} = 0.65 * \sqrt[3]{\frac{13.48 * 170}{25}} = 2.93$$

4. Додатковий параметр

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 * \sqrt{f + 0.34 * \sqrt[3]{f}}}, \quad (1.2.11)$$

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 * \sqrt{0.0003 + 0.34 * \sqrt[3]{0.0003}}} = 0.69$$

$n$  – розраховується в залежності від  $U_M$ . У нашому випадку, за допомогою формули  $n = 1$ :

$$U_M \geq 2, \text{ тоді } n = 1 \quad (1.2.12)$$

$$0.5 \leq U_M \leq 2, \text{ тоді } n = 0.532 * U_M^2 - 2.13 * U_M + 3.13$$

$$U_M \leq 0.5, \text{ тоді } n = 4,4 * U_M$$

Знаючи всі додаткові параметри, можна порахувати концентрацію сажі за допомогою формули

$$C_{\max} = \frac{180 \cdot 0.0083 \cdot 3 \cdot 0.69 \cdot 1 \cdot 1}{25^2 \cdot \sqrt[3]{13.48 \cdot 170}} = 0.38 \text{ (мг/м}^3\text{)}.$$

Аналогічно, за допомогою формули можна знайти наступні концентрації забруднюючих речовин:

- оксиду вуглецю, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{\max} = \frac{180 \cdot 0.033 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0.69 \cdot 1 \cdot 1}{25^2 \cdot \sqrt[3]{13.48 \cdot 170}} = 0.50 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

- діоксиду азоту, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{\max} = \frac{180 \cdot 0.37 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0.69 \cdot 1 \cdot 1}{25^2 \cdot \sqrt[3]{13.48 \cdot 170}} = 5.58 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

- діоксину сірки, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{\max} = \frac{180 \cdot 0.05 \cdot 10^3 \cdot 0.69 \cdot 1 \cdot 1}{25^2 \cdot \sqrt[3]{13.48 \cdot 170}} = 0.75 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Порахувавши максимальні концентрації шкідливих речовин, видно що найбільшу загрозу для атмосферного повітря та здоров'я людей буде чинити діоксид азоту (5,58 мг/м<sup>3</sup>), а найменшу загрозу сажа (0,38 мг/м<sup>3</sup>).

Окрім того на атмосферне повітря впливають неприємні запахи, що утворюються внаслідок розкладання посліду та інших органічних відходів.

Згідно з даними Продовольчої та Сільськогосподарської Організації ООН, тваринництво є одним з найбільших джерел антропогенних викидів парникових газів. Індустрія тваринництва відповідає за 14.5% викидів усіх парникових газів, що перевищує викиди транспортного сектору. Крім того, тваринництво спричиняє 37% усіх викидів метану [8]. За даними Університету Принстону, метан має парниковий потенціал, що більше на 30 разів, ніж у вуглекислого газу. Виділення метану відбувається під час травлення жуйних тварин та при анаеробному розкладанні курячого посліду. Основний внесок у викиди парникових газів у Європі становить виробництво м'яса, молочних продуктів та яєць, яке складає 83% від усіх викидів. Виділення аміаку з пташиних ферм може негативно впливати на довкілля та сприяти формуванню кислих дощів. Метан, що виділяється з посліду, є потужним парниковим газом, який сприяє змінам клімату.

**Вплив на літосферу.** Більшість птахофабрик стикаються з проблемами у використанні пташиного посліду через кілька основних причин. По-перше, бракує спеціалізованих відділів, які б займалися підготовкою, переробкою та використанням посліду в сільському господарстві та його реалізацією для зацікавлених сільськогосподарських підприємств. По-друге, недостатня кількість техніки для транспортування та внесення посліду у ґрунт ускладнює процес. По-третє, багато птахофабрик не мають достатньої площі орних земель для повного використання посліду в землеробстві. І нарешті, брак зацікавленості багатьох спеціалістів у підвищенні якості посліду також становить проблему, оскільки важливо, щоб його хімічні та санітарно-бактеріологічні характеристики відповідали нормативам [9].

### **1.3. Характеристика основного забруднювача довкілля - курячого посліду та способів його утилізації**

#### ***Вихід посліду при вирощуванні та утриманні птиці***

Приблизно 35-40% поживних речовин у спожитому кормі птиця використовує на свої життєво важливі функції, такі як ріст, підтримання температури тіла і функціонування органів. Решта непотрібних речовин виділяється з організму птиці у вигляді посліду. Ця кількість посліду перевищує кількість з'їденого корму на 1,3-1,5 рази [10]. Середній вихід посліду натуральної вологості у птиці сучасних кросів наведено в таблиці 9.

Таблиця 9 – Вихід посліду в розрахунку на 1 голову [11]

Виробнича група птиці	Вихід посліду за добу*, г	Вологість свіжого посліду, %	Цикл вирощування або утримання птиці, тижнів	Вихід посліду натуральної вологості за цикл вирощування або утримання, кг
<b><i>Доросла птиця</i></b>				
Кури яєчні	155-160	71-73	52	56,4-58,2
Кури м'ясні	165	71-73	35	40,4
Індики	450	64-66	26	81,9
Качки	423	80-82	30	88,8

Гуси	594	80-82	52	216,2
Перепели	35	64-66	34	8,3
<b>Ремонтний молодняк</b>				
Кури яєчні	105	66-68	20	14,7
Кури м'ясні	133	66-68	26	24,2
Індики	160	70-72	33	37,0
Гуси	350	76-78	30	73,5
Качки	235	76-78	21	34,5
<b>Молодняк, що вирощується на м'ясо</b>				
Курчата бройлери	120	66-74	6	5,0
Індики:				
самки	190	70-72	16	21,3
самці	286	70-72	23	46,0
Качки	230	76-78	8	12,9
Гуси	200	76-78	9	12,6
Перепели	25	66-68	8	1,4

*Примітка: \* - в середньому за період вирощування або утримання*

Птичий послід можна поділити на два основних види: клітковий і той, що лежить на підстилці. Клітковий послід, який переважно збирається від яєчних курей, не містить багато домішок, окрім води, трохи пуху, пір'я та часток кормів. Утримання курей у клітках спричиняє появу кліткового посліду. Цей тип може бути рідким або підсушеним. Рідкий послід, який має вологість від 83% до 95%, зазвичай збирається за допомогою скребкових механізмів в кліткових умовах. Оскільки такий послід надзвичайно вологий, він часто розбавляється водою для зручності збору. Це призводить до збільшення маси посліду та, відповідно, збільшення витрат на його обробку та транспортування в 2-3 рази [11].

Останнім часом, кліткові батареї зі скребковими механізмами поступово змінюються клітковими батареями, що використовують стрічкові транспортери для прибирання посліду, а також нові, покращені ніпельні напувалки з каплеуловлювачами, які запобігають потраплянню води у послід. При використанні таких батарей, послід може бути прибрано лише один раз протягом

3-5 днів, що призводить до зменшення електроенергії, витраченої на цю операцію. Існують два типи таких кліткових батарей зі стрічковим прибиранням посліду: з системою підсушування посліду та без неї. У випадку батарей без системи підсушування, послід має вологість приблизно 65%. Використання кліткових батарей з системою підсушування дозволяє отримувати послід із вологістю близько 50%. Це не лише поліпшує мікроклімат у приміщенні для птахів, але і зменшує витрати на транспортування та подальшу обробку посліду. Більшість поголів'я м'ясної птиці утримують на глибокій підстилці, що призводить до утворення підстилкового посліду. Цей вид посліду представляє собою комбінацію посліду та різних матеріалів для підстилки на різних стадіях мікробіологічного розкладу.

**Хімічний склад пташиного посліду.** Пташиний послід представляє собою складну і різноманітну структуру, яка містить як органічні, так і неорганічні сполуки. Органічні складові включають в себе основним чином азотисті сполуки, такі як білки, пептиди та амінокислоти, а також вуглецеві сполуки, зокрема ліпіди, гліцерини, жирні кислоти, вуглеводи (включаючи клітковину, цукри, спирти, целюлозу і лігнін). До неорганічних складових відносяться вода, аміак, певні сполуки міді, фосфору, калію, цинку, марганцю та інших елементів. Цінність посліду як добрива визначається в основному за вмістом таких хімічних елементів, як азот, фосфор та калій [11]. Вміст хімічних елементів у посліді різних видів та виробничих груп птиці наведено в таблиці 10.

Таблиця 10 – Хімічний склад пташиного посліду, % [11]

Вид птиці	Тип посліду	Вода	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Дорослі кури	Свіжий послід натуральної вологості	65-73	1,7-1,3	0,9-0,6	0,8-0,6
	Отриманий в кліткових батареях з скребковим прибиранням	83-95	0,8-0,2	0,4-0,1	0,4-0,1
	Птичий послід, який зібраний у клітках за допомогою стрічкового прибирання без системи підсушування.	65	1,6-1,7	0,9-1,0	0,8
	Птичий послід, який зібраний у клітках за допомогою стрічкового прибирання та системи підсушування.	50	2,4-2,6	1,2-1,3	1,0-1,1

	Клітковий послід після року зберігання в послідосховищі	77-94	0,9-0,2	0,5-0,2	0,5-0,2
	Висушений свіжий послід	14	4,1	2,1	1,8
	Підстилковий послід після 12 місяців накопичення у пташнику:				
	торф + солома	35-42	3,1-2,5	2,5-1,9	1,5-1,4
	стружка	23-31	2,6-1,7	2,1-1,1	1,3-1,1
	солома	35-60	2,9-1,4	3,7-1,8	1,5-1,1
Ремонтний молодняк яєчних та м'ясних курей	Свіжий послід (клітковий)	66-74	1,7-1,2	1,0-0,6	0,6-0,5
	Підстилковий послід	22-58	3,3-2,5	3,8-1,1	1,4-1,1
Бройлери	Свіжий послід	66-74	1,7-1,2	0,6-0,4	0,4-0,3
	Підстилковий послід	22-60	1,8-0,8	0,9-0,4	1,3-0,7
Молодняк індиків	Свіжий послід	70-72	1,8-1,3	0,7-0,5	0,4-0,3
Індики дорослі	Те ж саме	64-66	1,7-1,6	0,6-0,6	0,4-0,3
Молодняк качок	Те ж саме	76-78	1,2-1,1	0,5-0,4	0,3-0,2
Качки дорослі	Те ж саме	80-82	1,0-0,9	1,4-1,2	0,7-0,6
Молодняк гусей	Те ж саме	76-78	1,4-1,3	0,8-0,6	0,5-0,4
Гуси дорослі	Те ж саме	80-82	1,4-1,3	0,6-0,5	0,5-0,4

### ***Основні способи переробки посліду, їх переваги та недоліки***

У свіжому вигляді (неочищеному), частина корисних речовин, зокрема азотних сполук, утримується в нестійкому стані і швидко випаровується в атмосферу або виноситься з рідкими стоками. Інша частина корисних речовин, зокрема у підстилковому посліді, перебуває у формі, яка не доступна для рослин. Саме тому використання неочищеного посліду як добрива заборонене законодавством. Посілок повинен бути підданий обробці, яка забезпечує нейтралізацію цих шкідливих факторів, видалення неприємного запаху та стабілізацію продукту, покращення його фізико-механічних властивостей. Є багато методів переробки пташиного посліду, які у певній мірі дозволяють вирішити ці проблеми. Основні переваги та недоліки цих способів наведено в таблиці 11.

Таблиця 11 – Характеристика основних способів переробки посліду [11]

<b>І. Використання як добрива в необробленому вигляді або після зберігання в послідосховищах</b>	
+	* дешевий та простий метод
-	* забруднення навколишнього середовища; * втрати поживних речовин (азоту до 50%); * запахи;
<b>Рекомендації щодо</b>	<i>Забороняється чинним законодавством</i>

<b>застосування</b>	
<b>II. Компостування: звичайне або прискорене.</b>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* може використовуватися будь-який вид посліду;</li> <li>* проста технологія;</li> <li>* незначні енерговитрати;</li> <li>* невеликі капіталовкладення та поточні експлуатаційні витрати;</li> <li>* отримання якісного добрива, що покращує структуру ґрунту, збагачує її гумусом.</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>* потреба у значних кількостях вуглеводистих матеріалів для поглинання вологи;</li> <li>* значні втрати азоту під час процесу компостування;</li> <li>* негативний вплив на довкілля в місцях компостування;</li> <li>* недостатньо надійне знешкодження шкідливих чинників;</li> <li>* великі транспортні витрати.</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод можна використовувати у будь-яких господарствах, незалежно від їх виробничої потужності, за умов наявності необхідних добавок та сільськогосподарських угідь для використання компосту. Інша можливість - це реалізація отриманих добрив іншим підприємствам.</i>
<b>III. Вермікомпостування</b>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* порівняно нескладна технологія;</li> <li>* висока цінність отримуваних добрив для збагачення ґрунтів гумусом та покращення їх структури;</li> <li>* можливість отримання кормового білкового борошна з вермікультури.</li> </ul>
-	<p>Див. вище (компостування звичайне), а також:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* потреба в значних площах для розміщення майданчиків компостування;</li> <li>* необхідність попередньої підготовки сировини методом звичайного компостування;</li> <li>* недосконалість промислової високопродуктивної технології та відсутність відповідних засобів механізації;</li> <li>- сезонність виробництва компостів.</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод рекомендується переважно для використання в невеликих птахопідприємствах, фермерських господарствах та присадибних господарствах..</i>
<b>IV. Використання посліду для отримання біогазу</b>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* можливість переробки рідкого кліткового посліду;</li> <li>* отримання дефіцитного енергоресурсу;</li> <li>* знешкодження шкідливих чинників та стабілізація основних поживних речовин в отриманому добриві.</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>* великі капіталовкладення (400-700 тис. Євро в розрахунку на 1 т/год. продуктивності обладнання по вихідній сировині);</li> <li>* тривалий термін окупності (не менше 4 років);</li> <li>* для обслуговування необхідний висококваліфікований персонал;</li> <li>* високі транспортні витрати на транспортування вихідної сировини та отриманих рідких добрив;</li> <li>* наявність достатніх площ сільгоспугідь та спеціальної техніки для внесення рідких добрив у ґрунт;</li> <li>* пов'язана з сезонністю використання рідких добрив потреба в великій місткості послідосховищ для їх тимчасового зберігання;</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод рекомендується для птахоферм з клітковим утриманням птиці, де формується рідкий послід, і які мають достатню площу сільгоспугідь для використання рідких добрив.</i>
<b>V. Високотемпературна сушка</b>	

+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* застосування поточної технології;</li> <li>* надійне знешкодження шкідливих чинників;</li> <li>* низькі втрати поживних речовин в процесі переробки та зберігання;</li> <li>* отримання високоякісного гранульованого продукту, придатного для тривалого зберігання, використання як добриво в умовах відкритого та закритого ґрунту, а також як кормовий компонент;</li> <li>* придатність для транспортування на далекі відстані;</li> <li>* можливість експорту.</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>* великі початкові капіталовкладення (до 1 млн. грн. в розрахунку на 1 т/год. продуктивності обладнання по вихідній сировині);</li> <li>* для обслуговування необхідний висококваліфікований персонал;</li> <li>* великі енерговитрати на зневоднення сировини (близько 50-100 л рідкого палива на 1 т води, яку необхідно випарити);</li> <li>* обмеженість внутрішнього ринку сухого посліду.</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод рекомендується для птахоферм з обмеженою кількістю власних сільгоспугідь, особливо якщо вони розташовані поблизу великих міст. У цьому випадку доцільно використовувати клітковий послід з вологістю не більше 50% як сировину для виготовлення добрив.</i>
<b>VI. Переробка методом екструдуювання та гранулювання.</b>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* мінімальний набір обладнання;</li> <li>* порівняно невеликі капіталовкладення;</li> <li>* термін окупності 2 роки;</li> <li>* можливість переробки як сухого, так і підстилкового посліду;</li> <li>* можливість отримання сухих органічних і органо-мінеральних добрив заданого хімічного складу, у тому числі гранульованих.</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>* обмеження щодо вхідної вологості сировини (не більше 30%);</li> <li>* значні питомі витрати електроенергії (до 60 кВт-год./т готового продукту).</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод рекомендується для використання в птахофермах будь-якої виробничої потужності, які мають сировину з необхідною вологістю, а також в підприємствах, що виробляють сухі органічні та органо-мінеральні добрива для населення, а також для застосування в рослинництві закритого ґрунту та інших відповідних галузях.</i>
<b>VII. Пряме спалювання посліду для отримання теплової енергії</b>	
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>* найбільш просте вирішення проблеми утилізації посліду в випадку недостатньої кількості сільгоспугідь;</li> <li>* порівняно невисокі капіталовкладення;</li> <li>* термін окупності 1-2 роки;</li> <li>* отримання дешевої теплової енергії;</li> <li>* додатковий товарний продукт – зола ( 7-12% від маси вихідної сировини) з високим вмістом фосфору і калію (до 16% K<sub>2</sub>O та 24% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) може використовуватися як добриво.</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>* обмеження щодо вхідної вологості сировини (не більше 50%);</li> <li>* втрата значної частини удобрювального потенціалу посліду.</li> </ul>
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	<i>Цей метод може бути застосований у птахофермах будь-якої виробничої потужності, якщо є послід з припустимою вологістю, можливість використання теплової енергії та недостатня кількість сільгоспугідь для використання посліду як органічного добрива..</i>
<b>VIII. Спалювання посліду для отримання тепла та електроенергії</b>	
+	<p>Див. вище (пряме спалювання), крім того:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* можливість повного або часткового забезпечення потреб птахопідприємства в електроенергії;</li> <li>* термін окупності 2-3 роки;</li> </ul>

-	Див. вище (пряме спалювання), крім того: * високі капіталовкладення (2-4 тис. \$ на 1 кВт електричної потужності турбогенератора); * витрати посліду 2-3 кг на 1 кВт-год. отриманої електричної енергії,
<b>Рекомендації щодо застосування</b>	Цей метод рекомендується в основному для використання на великих птахофермах, які можуть собі дозволити великі капіталовкладення та мають достатню кількість посліду з припустимою вологістю. Також необхідно мати можливість використання отриманої теплової та електричної енергії для оптимального використання цього методу.

Органічні добрива, такі як компости і вермикомпости, не лише містять корисні речовини для рослин. Вони також сприяють утворенню гумусу, який покращує умови ґрунту та живлення рослин. Під час розкладу органічних матеріалів у ґрунті виділяється вуглекислий газ, який є важливим для збільшення врожайності рослин.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ УТИЛІЗАЦІЇ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ МЕТОДОМ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ

#### 2.1 Загальна характеристика метанового бродіння

Біогаз - це суміш газів, що утворюється під час анаеробного метанового бродіння біомаси. Він складається переважно з метану (60-80%), вуглекислого газу (20-40%), а також невеликої кількості сірководню, аміаку, оксидів азоту та інших домішок.

Переробка сировини в метан відбувається завдяки складним взаємодіям у змішаних популяціях мікроорганізмів. Ці мікроорганізми можна розділити на чотири основні групи за їхніми способами обміну речовин: аеробні гідролізні, анаеробні кислотоутворюючі, анаеробні воднеутворюючі та анаеробні метаноутворюючі [12].

На першому етапі аеробні гідролізні бактерії перетворюють складні органічні речовини (білки, вуглеводи, жири, целюлоза) у простіші сполуки, такі як цукри, амінокислоти та жирні кислоти, за допомогою ферментів. Ці ферменти, що виділяються цими бактеріями, пристосовані для розщеплення органічних речовин на менші водорозчинні молекули. В результаті полімери перетворюються на мономери. Цей процес, відомий як гідроліз, відбувається повільно і залежить від рівня рН (ідеально - 4,5-6) та тривалості перебування у резервуарі.

На другому етапі кислотоутворюючі бактерії беруть участь у розщепленні решток, що залишилися після першого етапу. Одномерні молекули проникають у клітини цих бактерій, де продовжується їх розкладання. У цьому процесі також беруть участь аеробні бактерії, які використовують залишки кисню, створюючи необхідні анаеробні умови для метаноутворюючих бактерій. За рівня рН 6-7,5 переважно утворюються ненасичені жирні кислоти, низькомолекулярні алкоголі (етанол), вуглець і гази - вуглекислий газ, водень, сірководень і аміак. Цей етап називається фазою окислення, а рН знижується.

На третьому етапі, воднепродукуючі бактерії перетворюють органічні жирні

кислоти на продукти, які є вихідними для утворення метану: оцтову і мурашину кислоту, вуглекислий газ та водень. Ці бактерії, що зменшують вміст вуглецю у складі органічних кислот, дуже чутливі до температурних змін.

На останньому етапі, за участю метаноутворюючих бактерій, з оцтової і мурашиної кислот, вуглецю та водню утворюється метан, вуглекислий газ і вода. Цей етап відіграє ключову роль у виробництві метану, оскільки близько 90% метану утворюється на цьому етапі, причому більшість з нього (70%) формується з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти, особливо на етапах III і II, є ключовим фактором, що впливає на швидкість утворення метану. Метаноутворюючі бактерії працюють виключно у анаеробних умовах [12].

Комплекс метаноутворюючих бактерій можна класифікувати за їхньою оптимальною температурою життєдіяльності на три групи: термофільні організми, які процвітають при температурі 40-60°C, мезофільні (25-40°C) і психрофільні, що віддають перевагу кімнатній температурі (20-25°C). Збільшення температури субстрату сприяє активізації метаноутворюючих бактерій і підвищенню виходу біогазу.

Продукти метанового бродіння знаходять широке застосування. Вони використовуються як добавки до корму для тварин у вигляді вітаміну B<sub>12</sub>, необхідного для їхнього нормального росту, оскільки цей вітамін відсутній у рослинах. Неочищений біогаз також може бути використаний у побуті. Його можна використовувати як паливо для стаціонарних установок, що генерують електроенергію. Стиснутий газ у балонах можна використовувати як пальне для автомобілів і тракторів або навіть подавати в газорозподільну мережу. Проте в останньому випадку необхідне деяке очищення біогазу, таке як сушка, видалення вуглекислого газу і сірководню.

## **2.2. Будова та принцип роботи біогазової установки**

Всі біогазові установки мають однакові принцип та будову. Лабораторне устаткування принципово не відрізняється від промислового. Біогазова установка складається з біореактора I і газгольдера II (рис. 1).

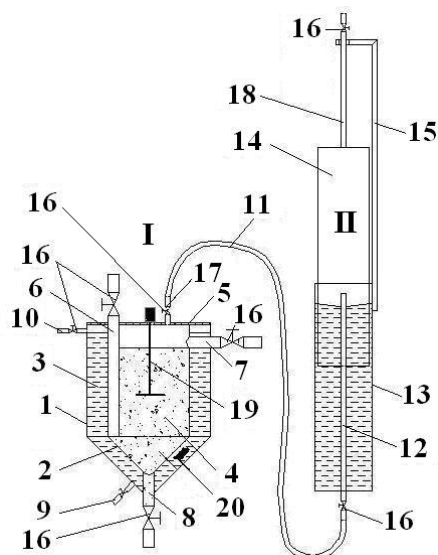


Рис. 1. Принципова схема біогазової установки: I – біореактор; II – газгольдер; 1 – зовнішній корпус біореактора; 2 – внутрішній корпус біореактора; 3 – водяна рубашка; 4 – активна зона біореактора; 5 – кришка; 6 – труба для подачі біомаси; 7 – труба для зливання шламу; 8 – труба для видалення шламу; 9 – труба для подачі води; 10 – труба для встановлення рівня води у водяній рубашці; 11 – газопровід; 12 – трубка для подачі біогазу; 13 – корпус газгольдера; 14 – циліндр-рівнемір; 15 – направляюча; 16 – кран; 17 – трубка для відведення біогазу з активної зони біореактора; 18 – трубка для відбору газу із газгольдера; 19 – мішалка; 20 – нагрівач

Біореактор I складається з зовнішнього корпусу 1 та внутрішнього корпусу 2, між якими розташована водяна рубашка 3. Ця рубашка, що заповнюється водою через трубу 9, призначена для передачі тепла від нагрівача 20 до біомаси, що знаходиться в активній зоні біореактора 4, та служить теплоізолятором для активної зони біореактора від зовнішнього середовища. Температура води регулюється за допомогою електронагрівача 20 та системи керування температурним процесом, підтримуючи її в межах 35-45°C. Така температура є оптимальною для ефективного протікання процесу метанової ферментації та зниження енергетичних витрат біореактора. При наповненні водою водяної рубашки повітря стравлюється через трубу 10 та вентиль 16. Для забезпечення герметичності активної зони біореактора 4 накривається кришкою 5 із

ущільнювачем. Через трубу 6 в активну зону біореактора 4 заливається біомаса в напіврідкому стані, наприклад, гноївка, суміш харчових відходів, трава з водою і т.д. Труба 6 майже доходить до дна активної зони біореактора 4, тому свіжа біомаса подається в нижню частину активної зони реактора, витісняючи переброджену біомасу (шлам) через трубу 7. Для підтримки мікрофлори комплексу метаноутворюючих бактерій необхідно залишити в біореакторі не менше 1/3 старої біомаси при заправці. Для відведення всієї біомаси під час технічного обслуговування біореактора служить труба 8. Герметичність біореактора забезпечують вентилі 16 [13].

У реакторі, де створюють оптимальні умови кислотності та температури, та відсутність кисню, відбувається метанове бродіння. Під час цього процесу утворюється цінне органічне добриво та виділяється біогаз. Щоб запобігти утворенню кірки та забезпечити однорідність біомаси, застосовується мішалка 19, яка періодично переміщує біомасу в активній зоні реактора.

Біогаз із реактора через трубку 17 по газопроводу 11 і далі по трубі 12 поступає в газгольдер II, де він зберігається. У цій установці використовується "мокрый" газгольдер, що складається з двох порожнистих циліндричних місткостей: корпусу 13 і циліндра-рівнеміра 14, а також направляючої 15. Корпус газгольдера 13 наповнений водою, у якій як поплавков плаває порожнистий циліндр-рівнемір 14. Біогаз через трубку 12 потрапляє у внутрішню порожнину циліндра-рівнеміра 14, який, по мірі заповнення біогазом, за допомогою направляючої 15 піднімається над корпусом газгольдера, дозволяючи визначити наявність та об'єм газу в газгольдері II. Біогаз з газгольдера відводиться по трубці 18 через кран 16 шляхом видавлювання масою циліндра-рівнеміра 14.

### **2.3. Визначення основних параметрів біогазової установки**

До найбільш значущих параметрів біогазової установки належать:

- пропускна здатність метантенка щодо кількості гною, який надходить з ферми;
- добовий обсяг завантаження метантенка;

- об'єм метантенка;
- час зброджування;
- час обороту реактора;
- добовий та річний вихід біогазу залежно від хімічного складу гнойової біомаси.

### ***Час зброджування***

Ефективний час зброджування залежить від того, як багато матеріалу додається до реактора і яка температура підтримується під час процесу зброджування. Якщо обрати занадто короткий час зброджування, бактерії в реакторі не встигають розмножитися настільки швидко, як виводиться зброджена біомаса, що призводить до практичної зупинки процесу ферментації. На інший бік спектра, якщо матеріал залишається в реакторі дуже довго, це також не ефективно для отримання максимальної кількості біогазу і біодобрив протягом певного періоду [14].

### ***Час обороту реактора***

При визначенні оптимальної тривалості зброджування використовується термін "час обороту реактора", що означає період часу, за який свіжа сировина, що була завантажена в реактор, перетворюється і вивантажується. На практиці час обороту реактора вибирається залежно від температурного режиму зброджування та складу сировини у наступних інтервалах:

- для психрофільного температурного режиму: від 30 до 40 і більше діб;
- для мезофільного температурного режиму: 10-20 діб;
- для термофільного температурного режиму: 5-10 діб.

### ***Добова доза завантаження сировини***

Кількість сировини, яка завантажується щодня, залежить від того, як швидко реактор працює і від температури в ньому. Чим швидше працює реактор і вища температура, тим більше сировини завантажується щодня. Наприклад, якщо реактор обертається раз на 10 днів, то щоденна доля завантаження буде 1/10 від загального об'єму сировини, який завантажується [15].

### ***Вихід біогазу і вміст в ньому метану***

Коли мова йде про вимірювання виходу біогазу, використовують літри або кубічні метри на кілограм сухої речовини гною. Якщо є дані про вагу свіжого гною за добу, можна приблизно розрахувати очікуваний вихід біогазу.

Наприклад, для 1 тонни ваги гною ВРХ очікуваний вихід біогазу буде 40-50 м<sup>3</sup>, для свинячого гною - 70-80 м<sup>3</sup>, а для пташиного посліду - 60-70 м<sup>3</sup>.

### ***Вага біогазу***

Об'ємна вага біогазу складає 1,2 кг/м<sup>3</sup>, тому при підрахунку кількості отримуваних добрив необхідно віднімати його з кількості сировини, що переробляється.

Для середньодобового завантаження 55 кг сировини і денному виході біогазу 2,2-2,7 м<sup>3</sup> на голову ВРХ маса сировини зменшиться на 4-5% в процесі переробки його в біогазовій установці.

### ***Визначення добового обсягу завантаження метантенка***

Добовий обсяг завантаження метантенка повинен відповідати добовому виходу з ферми гною з оптимальною відносною вологістю. Він розраховується за формулою :

$$Q_{M\_доб} = \frac{Q_{доб} \cdot W_{Г^2}}{W_{Г^1} \cdot \rho_{Г}} \quad (2.3.1)$$

$Q_{M\_доб}$  – добовий обсяг завантаження метантенка, м<sup>3</sup>/добу;  $Q_{доб}$  – добовий вихід гною на фермі, кг/добу;  $W_{Г^1}$  – відносна вологість гною, що надходить з ферми, %;  $W_{Г^2}$  – оптимальна відносна вологість гною, %;  $\rho_{Г}$  – густина гною при оптимальній вологості, кг/м<sup>3</sup>.

Оптимальна відносна вологість гною  $W_{Г^2}$  становить 88-92% [16].

### ***Визначення об'єму метантенка біогазової установки для крупних тваринницьких комплексів***

Рентабельність біогазового виробництва суттєво залежить від об'єму метантенка. При проектуванні метантенка перш за все враховується кількість гнойової біомаси, яка буде підлягати утилізації, а також режим роботи біогазової установки.

Залежно від особливостей технологічної схеми розрізняють три типи

біогазових установок: проточна (безперервна); з поперемінним використанням реакторів (циклічна); з накопиченням біогазу і біошламу (аккумулятивна).

Об'єм метантенка визначається за формулою:

$$V_M = \frac{m_{ACP}}{n_V \cdot q} \cdot t_{брод} \quad (2.3.2)$$

де:  $V_M$  – об'єм метантенка, м<sup>3</sup>;  $m_{ACP}$  – маса абсолютно сухої речовини гною, кг/добу;  $n_V$  – рекомендований об'єм завантаження в метантенк сухої речовини за добу, кг/(м<sup>3</sup>·добу);  $q$  – коефіцієнт заповнення камери;  $t_{брод}$  – час метанового бродіння, дб.

Маса абсолютно сухої органічної речовини гною  $m_{COP}$  визначається з виразу:

$$m_{ACP} = \frac{Q_{M-доб} \cdot \rho_r \cdot (100 - W_r)}{100}, \quad (2.3.4)$$

в якому густина гною  $\rho_r$  при заданій вологості визначається з емпіричної формули:

$$\rho_r = 1624 - 6,24 \cdot W_r. \quad (2.3.5)$$

Коефіцієнт заповнення метантенка  $q$  знаходиться в межах 0,8-0,95.

З огляду на присутність поблизу підприємства невеликих фермерських господарств є доцільним передбачити використання їх відходів для отримання біогазу разом з курячим послідом. В реактор завантажуються суміш гною цих тварин. При цьому встановити точне значення дози завантаження абсолютно сухої речовини гною в реактор, час бродіння та деякі інші параметри досить складно. В цьому випадку доцільно проводити спрощений розрахунок об'єму метантенка за наступною методикою [17]. Перш за все, враховуючи кількість тварин, визначається потрібна добова кількість гною для подальшої переробки в біогазовій установці. Потім ця сировина розбавляється водою з метою досягнення відсотка вологості між 85% і 92%. У більшості випадків у сільських установках співвідношення між гноєм і водою, що змішуються, щоб отримати сировину для подальшої переробки, знаходиться у діапазоні від 1 частини гною на 3 частини води до 2 частин гною на 1 частину води. Таким чином, кількість завантажуваної сировини – це сума відходів господарства, куди входять екскременти різних

тварин та людини, господарські та кухонні відходи, і води, якою вони розбавляються:

$$M_{\text{доб}} = M_{\text{відх}} + M_{\text{води}}, \quad (2.3.6)$$

де  $M_{\text{доб}}$  – маса сировини, що завантажується в метантенк, кг/добу;  $M_{\text{відх}}$  – маса відходів господарства, кг/добу;  $M_{\text{води}}$  – маса води, призначеної для розбавлення відходів, кг/добу.

Кількість води, якою необхідно розбавити гній, визначається за формулою:

$$M_{\text{води}} = \frac{M_{\text{відх}} \cdot (W_2 - W_1)}{(100 - W_2)}, \quad (2.3.7)$$

де  $W_1$  – початкова вологість сировини, %;  $W_2$  – кінцева вологість сировини, %.

Для переробки сировини при мезофільному режимі рекомендується використовувати дозу добового завантаження  $M_{\text{доб}}$ , рівну 10% від маси загальної завантаженої в установку сировини  $M_c$  (тобто час бродіння сировини в реакторі становить 10 діб).

$$M_c = 10 \cdot M_{\text{доб}}, \quad (2.3.8)$$

де  $M_c$  – загальна маса сировини, що завантажується в метантенк, кг; 10 – час бродіння, діб.

Перехід від маси сировини до її об'єму здійснюється за формулою:

$$V_c = \frac{M_c}{\rho_r}, \quad (2.3.9)$$

де  $V_c$  – загальний об'єм сировини, що завантажується в метантенк, м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  – густина гною при оптимальній вологості, кг/м<sup>3</sup>.

Приймається, що загальний об'єм сировини в установці не повинен перевищувати 2/3 об'єму метантенка, тобто:

$$V_c = \frac{2}{3} \cdot V_m, \quad (2.3.10)$$

де  $V_m$  – об'єм метантенка, м<sup>3</sup>, або:

$$V_m = 1,5 \cdot V_c. \quad (2.3.11)$$

### **Визначення добового виходу біогазу**

На стадії найбільш активного утворення метану, кількість біогазу, що виробляється, залежить від хімічного складу органічної речовини в біомасі. Цей склад визначається видом тварин та їх раціоном. Наприклад, більше біогазу отримують з курячого посліду порівняно з гноєм великої рогатої худоби або свиней. У процесі метанового бродіння при мезофільному режимі відношення виділеного біогазу з органічної речовини гнойової біомаси може бути приблизно таким: для дійних корів - 5, відгодівельних бичків - 7, свиней - 8, курей – 10 (Д:Б:С:К=5:7:8:10) [18].

Добовий вихід біогазу визначається за формулою:

$$Q_{\text{біог}} = \frac{m_{\text{АСР}} \cdot b \cdot z}{100} \quad (2.3.12)$$

де:  $Q_{\text{біог}}$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>/добу;  $m_{\text{АСР}}$  – кількість абсолютно сухої речовини гною, що завантажується в метантенк за добу, кг/добу;  $b$  – вихід біогазу з одиниці органічної речовини, м<sup>3</sup>/кг;  $z$  – ступінь розкладання органічної речовини, %.

Встановимо добовий обсяг завантаження метантенка при добовому виходу гною з ферми 7990 кг з відносною вологістю 98,4% при умові оптимальної відносної вологості гною 88%. Густина гною  $\rho_r$  при оптимальній вологості 88% становить 1080 кг/м<sup>3</sup>. Тоді добовий обсяг завантаження метантенка становить:

$$Q_{M\_дoб} = \frac{7990 \cdot 88}{98,4 \cdot 1080} = 6,6 \text{ м}^3.$$

Визначимо об'єм метантенка біогазової установки при коефіцієнті заповнення метантенка 0,8. Добовий обсяг завантаження метантенка і відносну вологість гною взяти із попереднього приклада:  $Q_{M\_дoб}=8,3$  м<sup>3</sup>/добу,  $W_{r^1}=98,4\%$ .

Визначається густина гною при вологості 98,4%:

$$\rho_r = 1624 - 6,24 \cdot 98,4 = 1010 \text{ кг/м}^3.$$

Отже, маса абсолютно сухої речовини буде становити:

$$m_{\text{АСР}} = \frac{8,3 \cdot 1010 \cdot (100 - 98,4)}{100} = 132,7 \text{ кг/добу}.$$

Рекомендований об'єм завантаження в метантенк сухої речовини за добу  $n_v$  становить 60 кг/м<sup>3</sup>·добу абсолютно сухої речовини. Час метанового бродіння

гною становить 15 діб.

Тоді об'єм метантенка біогазової установки при зброджуванні гною тоді становить:

$$V_M = \frac{132,7}{6 \cdot 0,8} \cdot 15 = 41,5 \text{ м}^3$$

Визначимо добовий вихід біогазу з посліду. Добовий обсяг завантаження метантенка і відносну вологість гною беремо із розрахунків наведених вище  $Q_{M\_доб} = 8,3 \text{ м}^3/\text{добу}$ ,  $W_{r^l} = 98,4\%$ . Вихід біогазу з одиниці органічної речовини  $b$  становить  $0,25-0,34 \text{ м}^3/\text{кг а.с.р.}$ . Для розрахунків приймається середнє значення –  $0,3 \text{ м}^3/\text{кг а.с.р.}$ . Для гною дійних корів він становить  $40\%$ . Тоді добовий вихід біогазу з гною дійних корів становить:

$$Q_{bioz} = \frac{132,7 \cdot 0,3 \cdot 40}{100} = 16 \text{ м}^3/\text{доба}$$

#### **2.4. Розрахунок якісних показників сировини для виробництва біогазу**

Метаноутворюючі бактерії широко поширені в природі і зазвичай зустрічаються в екскрементах тварин. Для початку процесу зброджування гною ВРХ в новому реакторі необхідно забезпечити наступні умови:

1. Підтримка анаеробних умов в реакторі.
2. Дотримання температурного режиму.
3. Доступність живильних речовин для бактерій.
4. Вибір правильного часу зброджування і своєчасне завантаження і вивантаження сировини.
5. Дотримання кислотно-лужного балансу.
6. Дотримання співвідношення вмісту вуглецю і азоту.
7. Вибір правильної вологості сировини.
8. Регулярне перемішування.

**Підтримка анаеробних умов в реакторі.** Метаноутворюючі бактерії можуть функціонувати лише в умовах, коли в реакторі біогазової установки відсутній кисень. Тому важливо ретельно контролювати герметичність реактора і

переконалися, що кисень не має доступу до його внутрішнього середовища [19].

**Кисотно-лужний баланс.** Метаноутворюючі бактерії найкраще розвиваються в нейтральних або слабко лужних умовах. Під час другого етапу процесу виробництва біогазу, коли активно працюють кислотоутворюючі бактерії, середовище стає кислим, оскільки рівень рН знижується. Проте при нормальному перебігу процесу життєдіяльність різних груп бактерій в реакторі відбувається ефективно, а кислоти перетворюються метаноутворюючими бактеріями. Оптимальний рівень рН змінюється від 6,5 до 8,5 залежно від вихідного матеріалу.

**Поживні речовини.** Для життєдіяльності та росту метаноутворюючих бактерій потрібно, щоб у сировині були наявні органічні та мінеральні поживні речовини. Окрім вуглецю і водню, для створення біодобрив вони потребують достатню кількість азоту, сірки, фосфору, калію, кальцію та магнію, а також ряд мікроелементів, таких як залізо, марганець, молібден, цинк, кобальт, селен, вольфрам, нікель та інші. Звичайна органічна сировина, така як тваринний навіз, містить достатню кількість зазначених елементів.

**Співвідношення вмісту вуглецю і азоту.** Один з ключових чинників, які впливають на метанове бродіння, - це співвідношення вуглецю і азоту в сировині, яка переробляється. Якщо це співвідношення (C/N) занадто велике, то недостатній азот може обмежувати процес метанового бродіння. З іншого боку, якщо співвідношення дуже мале, утворюється значна кількість аміаку, який стає токсичним для бактерій.

Мікроорганізми потребують як вуглецю, так і азоту для свого життєвого циклу. Різні дослідження показали, що найбільша видача біогазу спостерігається при співвідношенні вуглецю і азоту від 1:10 до 1:20, причому оптимальне значення залежить від типу сировини. Для досягнення високої продуктивності біогазу часто використовується суміш сировини з метою досягнення оптимального співвідношення C/N [20].

**Дотримання температурного режиму.** Підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших аспектів процесу бродіння. У природних

умовах утворення біогазу може відбуватися при температурах від 0°C до 97°C. Проте для оптимізації переробки органічних відходів з метою отримання біогазу та біодобрив виокремлюють три основних температурних режими:

- термофільний – при температурі 40-60°C;
- мезофільний – 25-40°C;
- психофільний – 20-25°C [21].

Збільшення температури сприяє збільшенню виробництва метану. Однак, з високою температурою зростає і кількість вільного аміаку, що може сповільнити процес зброджування. В середньому, біогазові установки без підігрівання реактора можуть продемонструвати задовільну продуктивність лише при середньорічній температурі близько 20°C і вище, або якщо середня денна температура не падає нижче 18°C. Якщо температура біомаси опускається нижче 15°C, вихід газу може бути настільки низьким, що біогазова установка без теплоізоляції та підігрівання стає економічно неефективною.

**Оптимальна температура процесу бродіння.** На підставі емпіричних даних, отриманих з працюючих біогазових установок, які переробляють змішаний гній ВРХ, свиней і птиці, оптимальними температурними режимами є:

Мезофільний: 34-37°C

Термофільний: 52-54°C

Психофільний температурний режим застосовується в установках без підігрівання, де відсутній контроль за температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психофільному режимі спостерігається при 23°C.

**Вологість сировини.** Для того, щоб бактерії були дієвими, необхідно, щоб вони могли взаємодіяти з сировиною без перешкод. Це може статися лише тоді, коли сировина має оптимальну консистенцію, яка дозволяє бактеріям та газовим бульбашкам вільно переміщуватися між рідиною та твердими частинками у ній [22].

Для визначення вмісту вологи в матеріалах найбільш поширеними є дві величини: вологовміст і вологість. Обое є відносними і виражаються в безрозмірних одиницях.

У зимовий період мінімальний рівень вологості сировини, що набирається у метантенк, повинен становити 85%, а влітку - не менше 92%.

**Перемішування субстрату в процесі бродіння.** Для ефективності роботи біогазової установки та підтримки стабільності процесу зброджування сировини у реакторі необхідне періодичне перемішування. Це необхідно для декількох цілей:

- вивільнення біогазу, який утворюється;
- змішування свіжої сировини з наявною бактеріальною культурою;
- попередження утворення кірки та осаду;
- запобігання утворенню зон з різною температурою всередині реактора;
- забезпечення рівномірного розподілу бактерій;
- попередження утворення порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора.

При виборі способу та методу перемішування важливо враховувати, що процес зброджування ґрунтується на симбіозі різних штамів бактерій, які можуть взаємодіяти, використовуючи продукти життєдіяльності одне одного. Часте або інтенсивне перемішування може бути шкідливим. Рекомендується повільне перемішування сировини кожні 4-6 годин, щоб забезпечити оптимальні умови для процесу зброджування.

**Проблема кірки.** Якщо високий об'єм газу недостатньо горючий, це може бути знаком утворення піни або кірки на поверхні сировини у реакторі. Низький тиск газу також може свідчити про утворення кірки, яка блокує газову трубу. У таких випадках видалення кірки з поверхні сировини в реакторі є необхідним.

Характеристикою кірки, що формується, є її гнучкість та здатність стати дуже твердою протягом короткого періоду часу. Щоб руйнувати кірку, її необхідно утримувати у вологому стані. Це може бути досягнуто поливанням водою зверху або зануренням в сировину [14].

**Інгібітори процесу.** У зброджуваній органічній масі не допускається наявність речовин, таких як антибіотики або розчинники, які можуть негативно впливати на життєдіяльність мікроорганізмів. Деякі неорганічні речовини також можуть бути шкідливими для метаноутворюючих бактерій. Наприклад, вода, яка

залишилася після прання білизни з використанням синтетичних мийних засобів, не підходить для розбавлення гною. Також, курячий послід може гальмувати процес метанового зброджування через високий вміст аміаку ( $\text{NH}_3$ ) [23].

**Курячий послід.** Для переробки курячого посліду рекомендується клітинний спосіб утримання птиць або установка сідала над придатною для збору посліду площею обмеженого розміру. В разі підлогового способу утримання птиці доля піску, тирси і соломи в посліді буде дуже висока. Необхідно приділяти увагу можливим проблемам і частіше очищати реактор, ніж при роботі з іншими видами сировини. Курячий послід добре поєднується з гноєм від Великої Рогатої Худоби (ВРХ) і може бути перероблений разом з ним. При використанні чистого пташиного посліду існує ризик високої концентрації аміаку.

Додавання допоміжного матеріалу з високим вмістом сухої органічної маси може значно збільшити виробництво біогазу. Наприклад, додавання жирів може збільшити вихід біогазу в кілька разів. Однак змішана ферментація, коли в один реактор додаються різні матеріали, може ускладнити процес управління та затягнути ретенцію (накопичення) газу, вимагаючи будівництва великих резервуарів. Проте це може бути виправдано збільшенням виробництва біогазу. Треба пам'ятати, що надмірне завантаження органічними речовинами може порушити співвідношення та призвести до раптового зниження виробництва біогазу [24].

**Підготовка сировини.** Різні матеріали, такі як солома, трава, стебла та сухий гній, мають тенденцію плавати на поверхні сировини, тоді як сухі та мінеральні речовини відкладаються на дні реактора, що може призвести до блокування вивантажувального отвору або зменшення робочої площі реактора. Ця проблема зазвичай не виникає при використанні добре підготовленої сировини з низьким вмістом вологи. Якщо використовується свіжий гною від КРС, проблема утворення кірки зазвичай не виникає. Однак виникають труднощі, коли сировина містить тверді органічні речовини, які не розкладаються. Перед будівництвом установки важливо перевірити можливість переробки кормів та гною в реакторі. Можливо, буде необхідно подрібнювати корм, що може вимагати

додаткових витрат. Проблема твердих часток у сировині є особливо серйозною для свинячого гною та пташиного посліду. Пісок, що скльовувався птицею, і попадання пір'я в послід роблять його важкою сировиною. Із всіх вищеперерахованих якісних параметрів сировини для виробництва для виробництва біогазу більшість визначається шляхом експериментальних досліджень. Розрахунковим способом можна визначити вологість гною, вміст абсолютно сухої і органічної речовини в гної.

***Розрахунок вологості гнойової біомаси, що надходить з ферми. Відносна вологість безпідстилкового гною визначається за формулою:***

$$W_r = \frac{W_E + 100K}{1 + K}, \quad (2.4.1)$$

де:  $W_r$  – відносна вологість гною, %;  $W_E$  – відносна вологість екскрементів, %;  $K$  – коефіцієнт, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення відносно маси екскрементів.

Вологість підстилкового гною визначається за формулою [7]:

$$W_r = W_E - 0,01 \cdot P_{II} \cdot (W_E - W_{II}) + 0,01 \cdot P_B \cdot (100 - W_{II}), \quad (2.4.2)$$

де:  $P_{II}$ ,  $P_B$  – доля в гнойовій біомасі підстилки і вологи, %.

Для визначення долі в гнойовій біомасі підстилки і вологи  $P_{II}$  і  $P_B$  визначається, скільки води за добу потрапило в систему гноєвидалення  $Q_{вг}$  у залежності від маси екскрементів  $Q_{екс} = K \cdot Q_e$ . Тоді, доля в гнойовій біомасі вологи  $P_B$  визначається за формулою [18]:

$$P_B = \frac{Q_{вг} \cdot 100}{Q_{доб}}, \quad (2.4.3)$$

де  $Q_{вг}$  – витрата води на видалення гною та витрата води на одну тварину, що додається в систему гноєвидалення з врахуванням виробничих потреб, кг/добу;  $Q_{доб}$  – добовий вихід рідкого гною, кг.

Доля в гнойовій біомасі підстилки  $P_{II}$  визначається за формулою:

$$P_{II} = \frac{Q_{II} \cdot 100}{Q_{доб}}. \quad (2.4.4)$$

де  $Q_{II}$  – витрата підстилки на одну голову, кг/добу

Витрата води на видалення гною визначається за формулою

$$Q_{вз} = K \cdot Q_e.$$

Добовий вихід рідкого гною з використанням підстилки визначається як сума добових виходу екскрементів, витрати води на видалення гною та на технічні потреби і витрати підстилки.

Масу абсолютно сухої речовини також можна визначити за формулою:

$$m_{АСР} = \frac{Q_{доб} \cdot (100 - W_{Г.})}{100}. \quad (2.4.5)$$

де  $m_{АСР}$  – маса абсолютно сухої речовини, кг/добу;  $Q_{доб}$  – добовий вихід рідкого гною, кг/добу.

Вміст сухої органічної речовини в гнойовій біомасі визначається за формулою:

$$m_{СОР} = m_{АСР} \cdot \frac{P_{СОР}}{100}. \quad (2.4.6)$$

де  $m_{СОР}$  – маса сухої органічної речовини, кг/добу;  $P_{СОР}$  – частка сухої органічної речовини в сухій речовині гною, %.

Для умов реалізації метанового бродіння нашого підприємства отримаємо наступні результати для умов утримання на підстилці, в якості якої виступає деревна тирса. Прибирання гною – транспортерами.

Відносну вологість підстилкового гною становить 86-87%. Для розрахунків приймаємо середнє значення відносної вологості – 86,5%. Відносна вологість підстилки (тирси) становить 10-30%. Для розрахунків приймаємо середнє значення відносної вологості – 20%. Витрата води на видалення гною та витрата води на одну тварину, що додається в систему гноєвидалення з врахуванням виробничих потреб  $Q_{вз}$  визначається добутком [18]:

$$Q_{вг} = K \cdot Q_e,$$

Де  $Q_e$ -добова маса екскрементів, кг/дБ

$Q_{п}$  - Витрата підстилки

Тоді, витрата води на видалення гною та витрата води, що додається в систему гноєвидалення з врахуванням виробничих потреб  $Q_{вг}$  становить:

$$Q_{вг} = 55 \cdot 0,15 = 8,3 \text{ л/добу}$$

В врахуванням того, що густина води становить  $1000 \text{ кг/м}^3$ , тобто 1 л води важить 1 кг, вага води на видалення гною становить 8,3 кг.

Витрата тирси в якості підстилки для становить 3-6 кг/добу. Для розрахунків беремо середнє значення – 4,5 кг/добу.

Добовий вихід рідкого гною визначається як сума добових виходу екскрементів, витрати води на видалення гною та на технічні потреби  $Q_{вг} = K \cdot Q_e$  і витрати підстилки :

$$Q_{доб} = 55 + 8,3 + 4,5 = 67,8 \text{ л/добу}$$

Тому, доля в гнойовій біомасі підстилки  $P_{п}$  становить:

$$P_{п} = \frac{4,5 \cdot 100}{67,8} = 6,6\%$$

а доля в гнойовій біомасі вологи  $P_{в}$  становить:

$$P_{в} = \frac{8,3 \cdot 100}{67,8} = 12,2\%$$

Отже, вологість підстилкового гною становить:

$$\begin{aligned} W_{г} &= 86,5 - 0,01 \cdot 6,6 \cdot (86,5 - 20) + 0,01 \cdot 12,2 \cdot (100 - 20) = \\ &= 86,5 - 4,4 + 9,7 = 91,8\% \end{aligned}$$

Масу абсолютно сухої речовини гною розраховуємо за формулою

$$m_{ACP} = \frac{68 \cdot (100 - 92)}{100} = 5,54 \text{ кг/добу}$$

## 2.5. Розрахунок теплоти згорання біогазу та інших газоподібних біопалив

Цінність будь-якого палива визначається головним чином його тепловою енергією на одиницю маси або об'єму. Теплотворність палива - це кількість тепла, яке виділяється під час повного згорання одиниці маси (1 кг для рідкого або твердого палива) або одиниці об'єму (1 м<sup>3</sup> для газоподібного палива) [25].

Відповідно до них теплоту згорання газоподібних палив у розрахунку на суху масу визначають за формулами:

$$Q_g = 128(CO + H_2) + 234H_2S + 356CH_4 + 639C_nH_m ; \quad (2.5.1)$$

$$Q_H = 128CO + 108H_2 + 234H_2S + 339CH_4 + 589C_nH_m ; \quad (2.5.2)$$

де  $Q_g$ ,  $Q_H$  – вища і нижча теплота згорання, кДж/кг;  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_nH_m$  – склад газоподібного палива, відсотки за об'ємом при нормальних умовах (0 °С, тиск 760 мм рт.ст.).

Теплоту згорання робочої маси газоподібного палива, що містить вологу, підраховують за формулами:

$$Q_B^P = 0,805 \cdot Q_B^C / (0,805 + W) ; \quad (2.5.3)$$

$$Q_H^P = 0,805 \cdot Q_H^C / (0,805 + W) ; \quad (2.5.4)$$

де  $Q_B^P$ ,  $Q_H^P$  – відповідно, вища і нижча теплота згорання палива, що містить вологу, кДж/кг;  $Q_B^C$ ,  $Q_H^C$  – відповідно, вища і нижча теплота згорання палива, що містить вологу, кДж/кг; 0,805 – маса 1 м<sup>3</sup> водяної пари, кг;  $W$  – вміст вологи в 1 м<sup>3</sup> газу, кг.

У технічних розрахунках застосовується поняття “умовне паливо”  $Q_y$ , з яким порівнюють інші види палива. За умовне паливо приймається кам'яне вугілля з нульовою вологістю, теплота згорання якого становить 7000 кКал/кг (29,3 МДж/кг).

При порівнянні видів палив визначають їх теплові еквіваленти, які є відношенням теплоти згорання будь-якого палива до теплоти згорання умовного:

$$E = \frac{Q_H}{Q_y} , \quad (2.5.5)$$

де  $E$  – тепловий еквівалент;  $Q_n$  – нижча теплота згорання палива, кДж/кг;  $Q_y$  – теплота згорання умовного палива, кДж/кг.

Визначимо енергетичні характеристики біогазу, отриманого із біомаси відходів підприємства, при умові, якщо він складається із 70% метану, 25% вуглекислого газу, 2,2% водню, 1,6% сірководню і 1,2% азоту.

Визначаємо вищу теплоту згорання біогазу:

$$Q_v = 128 \cdot (0 + 2,2) + 234 \cdot 1,6 + 356 \cdot 70 + 639 \cdot 0 = 25575 \text{ кДж} / \text{м}^3 \approx 25,6 \text{ МДж} / \text{м}^3$$

Визначаємо нижчу теплоту згорання біогазу:

$$Q_n = 128 \cdot 0 + 108 \cdot 2,2 + 234 \cdot 1,6 + 339 \cdot 70 + 589 \cdot 0 = 24342 \text{ кДж} / \text{м}^3 \approx 24,3 \text{ МДж} / \text{м}^3$$

Оскільки теплота згорання умовного палива становить 29,3 МДж/м<sup>3</sup>, тепловий еквівалент біогазу із біомаси трави за формулою (4.5) становить:

$$E = \frac{24,3}{29,3} = 0,83 ,$$

тобто теплота згорання біогазу із біомаси відходів підприємства нижча за теплоту згорання кам'яного вугілля.

### **Розрахунок теплового балансу метантенка**

Втрати тепла в метантенку визначаються за формулою:

$$E_{T.M} = E_{II} + E_D + E_{Mish} , \quad (2.5.6)$$

де  $E_{T.M}$  – втрати тепла в метантенку, МДж/добу;  $E_{II}$  – втрати тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння, МДж/добу;  $E_D$  – втрати енергії в довкілля, МДж/добу;  $E_{Mish}$  – витрата енергії на перемішування субстрату в процесі бродіння, МДж/добу.

Кількість теплоти, яка витрачається на підігрівання завантаженої протягом доби біомаси до температури процесу бродіння визначається як:

$$E_{II} = m_{доб} \cdot c_c \cdot (T_{бр} - T_{бм}) , \quad (2.5.7)$$

де  $m_{доб}$  – маса субстрату, що завантажується в метантенк за добу, кг/добу;  $c_c$  – теплоємність субстрату, МДж/(кг·К);  $T_{бр}$  – температура бродіння, °К;  $T_{бм}$  – температура біомаси, що завантажується в метантенк, °К.

Враховуючи, що:

$$T = 237,15 + t, \quad (2.5.8)$$

де  $t$  – температура, °С, формула (6.2) записується в вигляді:

$$E_{II} = m_{\text{доб}} \cdot c_c \cdot (t_{\text{бр}} - t_{\text{бм}}), \quad (2.5.9)$$

де  $t_{\text{бр}}$  – температура бродіння, °С;  $t_{\text{бм}}$  – температура біомаси, що завантажується в метантенк, °С.

Масу субстрату, що завантажується в метантенк за добу  $m_{\text{доб}}$ , можна визначити, знаючи добовий обсяг завантаження метантенка, за формулою:

$$m_{\text{доб}} = Q_{M\_доб} \cdot \rho_r, \quad (2.5.10)$$

де  $Q_{M\_доб}$  – добовий обсяг завантаження метантенка, м<sup>3</sup>/добу;  $\rho_r$  – густина гною при оптимальній вологості, кг/м<sup>3</sup>,

Середнє значення теплоємності субстрату  $c_c$  становить  $4,18 \cdot 10^{-3}$  МДж/(кг·К).

Температура бродіння залежить від прийнятого в проекті типу бродильного процесу; для термофільного бродіння  $t_6=52-54^\circ\text{C}$ ; для мезофільного –  $t_6=32-34^\circ\text{C}$ .

Тепловтрати від метантенка в доквілля  $E_D$  визначаються за формулою:

$$E_D = k \cdot S_M \cdot (t_{\text{бр}} - t_0), \quad (2.5.11)$$

де  $E_D$  – втрати енергії в доквілля, Вт;  $k$  – коефіцієнт теплопередачі від субстрату до доквілля Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S_M$  – площа зовнішньої поверхні метантенка, м<sup>2</sup>;  $t_0$  – температура доквілля, °С.

З врахуванням того, що 1 Вт·год становить 3600 Дж, тепловтрати від метантенка в доквілля  $E_D$ , що виражаються в МДж/добу, визначаються за формулою:

$$E_D = 0,0036 \cdot k \cdot S_M \cdot (t_{\text{бр}} - t_0) \cdot \tau, \quad (2.5.12)$$

де  $E_D$  – втрати енергії в доквілля, МДж/добу;  $\tau$  – число годин в добі.

Як правило, метантенки мають циліндричну форму. Приймаючи відношення висоти метантенка до його діаметру  $H/D = 0,9-1,3$ , за значенням об'єму метантенка  $V_M$  можна визначити площу зовнішньої поверхні метантенка

$S_M$ .

Об'єм циліндричного метантенка визначається за формулою:

$$V_M = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.5.13)$$

де  $V_M$  – об'єм метантенка, м<sup>3</sup>;  $H$  – висота метантенка, м;  $D$  – діаметр метантенка, м.

Коефіцієнт теплопередачі  $k$  визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{R_3 + R_{I3}}, \quad (2.5.14)$$

де  $R_3$  – термічний опір теплопередачі на зовнішній поверхні, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $R_{I3}$  – термічний опір теплопровідності теплоізоляційного шару, м<sup>2</sup>·К/Вт.

Термічний опір тепловіддачі на зовнішній поверхні  $R_3$  визначається з виразу:

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3}, \quad (2.5.15)$$

де  $\alpha_3$  – коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні метантенка, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні метантенка  $\alpha_3$  залежить від швидкості вітру:

$$\alpha_3 = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{v_8}, \quad (2.5.16)$$

де  $v_8$  – швидкість вітру, м/с.

Термічний опір теплопровідності теплоізоляційного шару  $R_{I3}$  визначається за формулою:

$$R_{I3} = \frac{\delta_{CM}}{\lambda_{CM}} + \frac{\delta_{IM}}{\lambda_{IM}}, \quad (2.5.17)$$

де  $\delta_{CM}$  – товщина стінки метантенка, м;  $\delta_{IM}$  – товщина шару теплоізоляції метантенка, м;  $\lambda_{CM}$  – коефіцієнт теплопровідності стінки метантенка, Вт/(м·К);  $\lambda_{IM}$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції метантенка, Вт/(м·К).

Витрата енергії на механічне перемішування субстрату в метантенку визначається за формулою:

$$E_{Miu} = q \cdot V_M \cdot z , \quad (2.5.18)$$

де  $E_{Miu}$  – витрата енергії на перемішування субстрату в процесі бродіння, Вт;  
 $q$  – питома навантаження на мішалку, Вт/м<sup>3</sup>·год;  $V_M$  – об'єм метантенки, м<sup>3</sup>;  $z$  – тривалість роботи мішалки протягом доби, год.

Якщо виразити витрату енергії на механічне перемішування субстрату в метантенку через МДж/добу, формула набуде вигляду:

$$E_{Miu} = 0,0036 \cdot q \cdot V_M \cdot z . \quad (2.5.19)$$

Питома навантаження на мішалку  $q$  становить приблизно 50 Вт/м<sup>3</sup>·год. За добу мішалка працює на протязі 8 год.

Розраховувати втрати тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння  $E_{II}$  і втрати енергії в довкілля  $E_D$  можна декількома способами.

Енергія біогазу, яка виробляється протягом доби, визначається за формулою:

$$E_{\delta} = V_{\delta} \cdot Q_n^{\delta} . \quad (2.5.20)$$

$E_{\delta}$  – енергія біогазу, яка виробляється протягом доби, МДж/добу;  $V_{\delta}$  – об'єм виробленого за добу біогазу, м<sup>3</sup>/добу;  $Q_n^{\delta}$  – нижча теплота згоряння біогазу, МДж/м<sup>3</sup>.

Загальне добове виробництво енергії біогазовою установкою, визначається виразом:

$$E_{заг.б} = E_{\delta} - E_{Т.М} . \quad (2.5.21)$$

де  $E_{заг.б}$  – загальне добове виробництво енергії біогазовою установкою, МДж/добу.

Коефіцієнт товарності біогазової установки становить:

$$K_{\delta} = \frac{E_{заг.б}}{E_{\delta}} , \quad (2.5.22)$$

де  $K_{\delta}$  – коефіцієнт товарності біогазової установки.

Проведемо розрахунки за наступними вихідними даними.

1. Місто, поблизу якого планується будівництво метантенку- Запоріжжя.
2. Сільськогосподарські тварини, гній яких планується використовувати як

субстрат для бродіння – корови, кури.

3. Добовий обсяг завантаження метантенка –  $8,3 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

4. Вологість гною –  $91,1\%$ .

5. Об'єм метантенка –  $41,1 \text{ м}^3$ .

6. Матеріал метантенка – сталь.

7. Товщина стінки метантенка –  $5 \text{ мм}$ .

8. Тип метантенка – надземний.

9. Матеріал утеплювача – скловата.

10. Товщина шару утеплювача –  $30 \text{ см}$ .

11. Відношення  $H/D$  –  $0,9$ .

12. Температура бродіння -  $40^\circ\text{C}$ .

13. Біомаса на бродіння поступає безпосередньо з тваринницького комплексу.

14. Нижча теплота згорання біогазу –  $28,1 \text{ МДж/м}^3$ .

Втрати тепла в метантенку складаються із втрат тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння  $E_{II}$ , втрат енергії в довкілля  $E_D$  і витрати енергії на перемішування субстрату в процесі бродіння  $E_{Miu}$ . Втрати тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння  $E_{II}$  визначається за формулою, в якій маса субстрату, що завантажується в метантенк за добу  $m_{доб}$ , визначається за формулою (6.5). Із вихідних даних до завдання відомо, що добовий обсяг завантаження метантенка становить  $8,3 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Оскільки щільність гною при його вологості  $91,1\%$  становить  $1056 \text{ кг/м}^3$ , то маса субстрату, що завантажується в метантенк за добу, становить:

$$m_{доб} = 8,3 \cdot 1056 = 8733 \text{ кг/добу.}$$

Середнє значення теплоємності субстрату  $c_c$  становить  $4,18 \cdot 10^{-3} \text{ МДж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

За завданням, метанове бродіння в метантенку проходить в мезофільному режимі при температурі  $40^\circ\text{C}$ . Біомаса на бродіння поступає безпосередньо з тваринницького комплексу. Оптимальна температура в корівниках при стійловому утриманні становить  $10-12^\circ\text{C}$ . Таку ж температуру має і біомаса, що

поступає з корівника в метантенк. Для розрахунків приймаємо середнє значення. Отже,  $t_{6M}=11^{\circ}\text{C}$ . Тому, втрати тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння  $E_{II}$  становлять:

$$E_{II} = 8733 \cdot 0,00418 \cdot (40 - 11) = 1058,6 \text{ МДж/добу.}$$

Коефіцієнт теплопередачі від субстрату до довкілля  $k$  обернено пропорційний сумі термічних опорів теплопередачі на зовнішній поверхні  $R_3$  і теплопровідності теплоізоляційного шару  $R_{I3}$ . Термічний опір теплопередачі на зовнішній поверхні  $R_3$  обернено пропорційний коефіцієнту теплообміну на зовнішній поверхні метантенка  $\alpha_3$ , який залежить від швидкості вітру за формулою (6.11). Оскільки втрати енергії в довкілля, як правило, набагато нижчі втрат тепла на підігрівання субстрату до температури бродіння, при визначенні втрати енергії в довкілля за температуру довкілля приймаємо середньорічну температура, а за швидкість вітру – середньорічну швидкість вітру. Середня швидкість вітру становить 2,4 м/с, Тому коефіцієнту теплообміну на зовнішній поверхні метантенка  $\alpha_3$  буде:

$$\alpha_3 = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{2,4} = 22,4.$$

Термічний опір теплопередачі на зовнішній поверхні  $R_3$  становить:

$$R_3 = \frac{1}{22,4} = 0,045.$$

Із завдання відомо, що матеріалом метантенка є сталь, а утеплювачем – скловата. Товщина стінки метантенка  $\delta_{CM}$  становить 5 мм, а товщина шару теплоізоляції метантенка  $\delta_{IM}$  30 см. Визначаємо коефіцієнти теплопровідності сталі і скловати, які становлять:

$$\lambda_{стали} - 52 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\lambda_{скловати} - 0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

Отже, термічний опір теплопровідності теплоізоляційного шару метантенку  $R_{I3}$  становить:

$$R_{13} = \frac{0,005}{52} + \frac{0,3}{0,05} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі від субстрату до довкілля  $k$  буде:

$$k = \frac{1}{0,045 + 5} = 1,198.$$

Площа зовнішньої поверхні метантенка  $S_M$  визначається наступним чином.

Висота метантенка становить:

$$H = \frac{4 \cdot V_M}{\pi \cdot D^2}.$$

Із завдання відомо, що  $H/D=0,9$ . Тоді,  $H=0,9 \cdot D$ .

Оскільки висоти в цих формулах рівні, ми можемо їх прирівняти:

$$0,9 \cdot D = \frac{4 \cdot V_M}{\pi \cdot D^2}.$$

Звідси,

$$D^3 = \frac{4 \cdot V_M}{0,9 \cdot \pi}.$$

Отже, діаметр метантенка буде:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 41,5}{0,9 \cdot 3,14}} = 3,89 \text{ м}.$$

Тоді, висота метантенка буде:

$$H = 0,9 \cdot D = 0,9 \cdot 3,89 = 3,5 \text{ м}.$$

Площа стінок метантенка буде:

$$S_{\text{стінок}} = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 \cdot 3,89 \cdot 3,5 = 42,76 \text{ м}^2.$$

Площа стелі метантенка буде:

$$S_{\text{стелі}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,89^2}{4} = 11,88 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні метантенка буде становити суму площ стінок і стелі метантенка:

$$S_M = S_{\text{стінок}} + S_{\text{стелі}} = 42,76 + 11,88 = 54,64 \text{ м}^2.$$

Температура бродіння із завдання становить 40°C. Температура довкілля приймається як середньорічна температура по м. Києву.  $t_{\text{д}}=7,7^\circ\text{C}$ .

Всі дані для визначення тепловтрат від метантенка в довкілля нами встановлені. Тоді тепловтрати від метантенка в довкілля  $E_{\text{д}}$  будуть:

$$E_{\text{д}} = 1,198 \cdot 54,64 \cdot (40 - 7,7) = 30,2 \text{ МДж/добу.}$$

Питоме навантаження на мішалку  $q$  становить приблизно 50 Вт/м<sup>3</sup>·год. За добу мішалка працює на протязі 8 год. За завданням, об'єм метантенка становить 41,1 м<sup>3</sup>. Тоді:

$$E_{\text{Міш}} = 0,0036 \cdot 50 \cdot 41,1 \cdot 8 = 59,7 \text{ МДж/добу.}$$

Загальні втрати тепла в метантенку становлять:

$$E_{\text{Т.М}} = 1058,6 + 30,2 + 59,7 = 1148,6 \text{ МДж/добу.}$$

Порівняємо повні втрати тепла в метантенку з виробленою енергією отриманого біогазу.

Енергія біогазу, яка виробляється протягом доби, визначається як добуток нижчої теплоти згорання біогазу на об'єм виробленого за добу біогазу.

Нижча теплота згорання біогазу за завданням становить 28,1 МДж/м<sup>3</sup>.

Кількість абсолютно сухої речовини гною, що завантажується в метантенк за добу  $m_{\text{АСР}}$ , становить ( $Q_{\text{доб}}$  визначається як добуток добового обсягу завантаження метантенка  $Q_{\text{М_доб}}$  на густину гноївки  $\rho_{\text{г}}$ ):

$$m_{\text{АСР}} = \frac{8,3 \cdot 1056 \cdot (100 - 91,1)}{100} = 777,23 \text{ кг/добу.}$$

Вихід біогазу з одиниці органічної речовини  $b$  становить 0,25-0,34 м<sup>3</sup>/кг а.с.р. Для розрахунків приймається середнє значення – 0,3 м<sup>3</sup>/кг а.с.р. Для гною дійних корів він становить 40%. Тоді добовий вихід біогазу з гною дійних корів

становить:

$$Q_{\text{биогаз}} = \frac{777,23 \cdot 0,3 \cdot 40}{100} = 93 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Отже, енергія біогазу, яка виробляється протягом доби буде:

$$E_{\text{б}} = 93 \cdot 28,1 = 2620,8 \text{ МДж/добу}.$$

Загальне добове виробництво енергії біогазовою установкою становить:

$$E_{\text{заг.б}} = 2620,8 - 1148,6 = 1472,3 \text{ МДж/добу}.$$

Коефіцієнт товарності біогазової установки становить:

$$K_{\text{б}} = \frac{1472,3}{2620,8} = 0,562,$$

Тобто майже половина біогазу йде на підтримання температури бродіння.

## РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

### **3.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів**

На кожному виробничому відділенні підприємства повинні бути наявні відповідні нормативні та технічні документи, які встановлюють правила та умови для безпечного проведення виробничого процесу, дій персоналу у випадку аварійних ситуацій та проведення ремонтних робіт.

Фізичні небезпечні та шкідливі фактори на виробництві включають різноманітні аспекти технологічного процесу, такі як рух обладнання, гострі предмети, температурні впливи, високі електричні напруги та статична електрика. Вони також включають умови приміщень, де відбувається виробництво, такі як запиленість, шкідливі гази, погодні умови, шум, ультразвук, вібрації та недостатня освітленість.

Небезпечні виробничі речовини можуть мати різні шкідливі властивості, такі як токсичність, дратівливість, алергенність, канцерогенність, мутагенність та вплив на репродуктивність. Вони можуть потрапляти в організм через дихальні шляхи, шкіру, травлення або слизові оболонки. До небезпечних факторів також відносяться психофізіологічні перевантаження, які включають фізичні та нервово-психічні навантаження [26].

### **3.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту**

Птахофабрики повинні відповідати низці санітарно-гігієнічних та ветеринарно-зоотехнічних норм, щоб забезпечити безпеку та добробут птиці, а також безпеку працівників.

Птахофабрика повинна бути розміщена на ділянці, яка не прилягає до житлових зон, промислових підприємств та інших джерел забруднення. Територія птахофабрики повинна бути огорожена, щоб запобігти проникненню диких тварин та сторонніх осіб. В'їзд на територію птахофабрики повинен бути

обладнаний дезінфекційним бар'єром для транспорту. Також, територія птахофабрики повинна бути розділена на зони: виробничу, санітарно-захисну та адміністративно-господарську.

Пташники повинні відповідати вимогам щодо розміщення, мікроклімату, вентиляції, освітлення, годування та поїння птиці. Інвентар, який використовується для роботи з птицею, повинен бути виготовлений з якісних матеріалів, легко чиститися та дезінфікуватися. Усі робочі місця на птахофабриці повинні відповідати санітарним нормам.

Рух працівників і транспорту на території птахофабрики повинен бути розмежований. Працівники птахофабрики повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), відповідно до їхніх завдань.

Вимоги до птахофабрик також регламентуються українським законодавством, зокрема Наказом "Про затвердження Ветеринарно-санітарних правил для птахівничих господарств і вимог до їх проектування" [27].

### **3.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря**

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень є ДСН 3.3.6.042-99 [28]. Нормування цих параметрів стосується робочої зони, яка є визначеним простором, де розташовані робочі місця, де працівники постійно або тимчасово працюють.

Оптимальні норми мікроклімату використовуються для приміщень, де люди працюють без великих енергетичних споживачів або джерел інтенсивного теплового випромінювання.

Допустимі мікрокліматичні умови визначають такі параметри мікроклімату, які при тривалому і регулярному впливі на людину можуть спричинити дискомфортне відчуття тепла, викликане напруженням механізмів терморегуляції, але не перевищують фізіологічних можливостей людського організму. Це може призвести до певного зниження працездатності, але не призводить до пошкоджень або порушень здоров'я.

У приміщеннях з великим надлишком тепла, де теплові показники перевищують 23 Дж/(м<sup>3</sup>•с), і де на кожного працюючого припадає від 50 до 100 квадратних метрів підлоги, дозволяється зниження температури повітря до +12°C для легких робіт, до +10°C для робіт середньої важкості і до +8°C для важких робіт у зонах, що не є постійними робочими місцями. Це робиться для забезпечення комфортних умов праці.

Якщо на кожного працівника припадає більше 100 квадратних метрів площі підлоги, то нормативні показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря забезпечуються лише на постійних робочих місцях.

Інтенсивність теплового випромінювання, яке впливає на працівників від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних приладів та сонячного світла через скляні огороження, на постійних і тимчасових робочих місцях не повинна перевищувати:

1. 35 Вт/м<sup>2</sup>, якщо опромінюється 50 % і більше поверхні тіла;
2. 70 Вт/м<sup>2</sup>, якщо опромінюється від 25 % до 50 % поверхні тіла;
3. 100 Вт/м<sup>2</sup>, якщо опромінюється не більше 25 % поверхні тіла.

При цьому обов'язкове використання засобів індивідуального захисту, включаючи захист обличчя та очей.

Низькі температури під час роботи на відкритому повітрі взимку можуть негативно впливати на здоров'я людини. Існують граничні температури, при яких роботу на відкритому повітрі важко виконувати через обмежені можливості терморегуляції організму. Наприклад, при температурі повітря до мінус 25°C може спостерігатися охолодження відкритих частин тіла та зменшення чутливості кінцівок. Періодичне обігрів допомагає відновити працездатність, але при температурах від мінус 25 до мінус 30°C навіть такий обігрів не завжди забезпечує повне відновлення працездатності. Праця при таких низьких температурах може призвести до серйозного переохолодження організму. Праця при температурах мінус 30...40°C і нижче при періодичному обігріві через кожну годину може призвести до стійкого зниження температури тіла, втрати чутливості пальців рук і ніг, підвищення артеріального тиску та прискорення пульсу [29].

### **3.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення**

Основна мета освітлення – забезпечити оптимальні умови для зору. Цього можна досягти, якщо дотримуються такі вимоги до освітлення:

1. Освітлення на робочому місці повинно відповідати потребам органів зору, які залежать від розміру найдрібніших деталей, які потрібно розрізняти під час роботи, а також від контрасту між об'єктом та фоном. Чим менший розмір деталей та менший контраст, тим важливіше мати достатньо яскраве освітлення для створення комфортних умов праці.

2. Важливо забезпечити рівномірне освітлення не лише робочої поверхні, а й оточуючого простору, щоб уникнути різких контрастів у полі зору. Таке освітлення допоможе уникнути ситуацій, коли яскравість одних областей значно відрізняється від інших, що може створювати дискомфорт та спричиняти напругу для очей під час роботи.

3. На робочій поверхні не повинно бути різких тіней, оскільки вони спричиняють нерівномірне освітлення, що може швидко призводити до втоми очей.

4. У полі зору не повинно бути прямого або відбитого блиску, оскільки це може тимчасово осліпити.

5. Освітленість має залишатися стабільною з часом. Зміни в освітленості можуть виникати внаслідок коливань напруги в електричній мережі та через особливості роботи джерел світла.

6. Спектральний склад світла повинен максимально відтворювати правильні кольори, як природне світло. Таким чином, штучне освітлення, що використовується на підприємствах, повинне мати спектр, який найбільш можливо наближений до природного.

Освітлення має бути надійним, легким у використанні та економічним. Джерела світла не повинні створювати небезпечних або шкідливих факторів, таких як шум, теплове випромінювання, електричний шок або пожежну та вибухонебезпечність. Нормування природного освітлення здійснюється за

допомогою коефіцієнта природної освітленості, що дозволяє контролювати ідеальний рівень природного світла в приміщенні.

Нормовані значення визначаються ДБН В.2.5-28:2018) [30].

При використанні системи бічного природного освітлення через віконні прорізи у стінах, встановлюється мінімальне значення КПО на робочій поверхні, що знаходиться на відстані 1 метр від стіни, найбільш віддаленої від світлових прорізів [31].

### **3.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації**

ДСН 3.3.6.037-99 встановлює допустимі рівні звукового тиску у різних частотних діапазонах, рівні шуму та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях, у виробничих приміщеннях і на території підприємства [32].

Відповідно до норм, робочі області з рівнем звукового тиску, що перевищує 85 дБА, мають бути позначені спеціальними знаками, а працюючих у цих зонах повинні забезпечувати засобами індивідуального захисту. Максимальний рівень шуму, який змінюється в часі та переривається, не повинен перевищувати 110 дБА. Для імпульсного шуму максимальний рівень не повинен перевищувати 125 дБА. Будь-яке, навіть короткочасне, перебування людей у зонах з октавним рівнем звукового тиску, що перевищує 135 дБ у будь-якій октавній смузі, заборонене.

Для захисту від шуму існують декілька методів:

а) Звукоізоляція. Цей метод полягає у встановленні звукоізоляційних бар'єрів, таких як перегородки, кабіни, кожухи або екрани. Їх виготовляють із щільних твердих матеріалів, таких як метали чи сплави, пластмаса, бетон або цегла.

б) Звукопоглинання. Цей метод спрямований на зменшення енергії звукових хвиль, які відбиваються від внутрішніх поверхонь приміщення. Для цього проводять акустичне оброблення стін та стелі приміщень за допомогою звукопоглинальних матеріалів або підвішують штучні звукопоглиначі.

в) Глушники шуму. Це ефективний засіб боротьби з шумом, особливо тим, що виникає від аеродинамічних процесів, наприклад, при роботі вентиляційних систем або компресорних установок. Глушники поділяються на активного, реактивного та комбінованого типу, і вони працюють за різними принципами, такими як поглинання або відбивання звукових хвиль.

Вплив вібрації на організм людини може бути серйозним і завдати значної шкоди здоров'ю. Наслідки можуть включати значні зміни в роботі багатьох органів і систем організму, від деформації тканин до розриву клітин та органів. При тривалому впливі вібрації може спостерігатися передчасне втомлення працівників та зниження їхньої продуктивності. Це може призвести до порушень роботи нервової системи, серцево-судинної системи, системи підтримки та руху, а також до деформації м'язів і кісток. Такий вплив може також призводити до порушень чутливості шкіри, кровообігу та спазму судин, а також обмеження рухомості у суглобах.

Засоби захисту від вібрації можна розділити на ті, що призначені для індивідуального захисту кожного працівника та ті, які призначені для всього колективу. Індивідуальні засоби захисту включають у себе різноманітні засоби для захисту рук, ніг та тіла від впливу вібрації. Колективні заходи спрямовані на зменшення впливу вібрації на робочому місці через зменшення вібрації в її джерелі, контроль параметрів вібрації під час її передачі та застосування організаційних і технічних засобів для цього.

Для зменшення вібрації в самому її джерелі застосовуються різноманітні кінематичні та технологічні схеми, які спрямовані на зменшення або усунення дії динамічних сил. Наприклад, вібрацію можна зменшити шляхом заміни кулачкових або кривошипних механізмів на такі, що працюють з рівномірною швидкістю, або заміною механічних приводів на гідравлічні. Також досягається зменшення вібрації за допомогою статичного та динамічного зрівноважування механізмів та рухливих об'єктів. Потенційно динамічні сили можуть бути посилені внаслідок дії окремих механізмів, появи зазорів або люфтів, а також через погане зчеплення деталей, що призводить до посилення вібрації [29].

### **3.6. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва**

Спеціалізовані птахівничі господарства функціонують як закриті підприємства, де заборонений доступ сторонніх осіб до виробничих зон, а також в'їзд будь-якого виду транспорту, крім того, який пов'язаний з обслуговуванням господарства. Для персоналу обслуговування доступ на територію господарства надається лише через ветеринарно-санітарний пункт контролю, тоді як в'їзд транспорту здійснюється через спеціальне дезінфекційно-промивальне приміщення, відоме як дезбар'єр. Усі інші входи у виробничі зони птахівничого господарства (ферми) мають бути постійно закриті. Перед входом на територію виробничої зони всі працівники повинні пройти через ветеринарно-санітарний пропускник, де вони зобов'язані зняти свій особистий одяг і взуття, залишивши їх у гардеробній, де для кожного працівника призначена окрема шафа. Потім працівники повинні одягнути чистий спецодяг і спецвзуття, які надаються їм на робочому місці. Кожен працівник має мати принаймні два комплекти спецодягу і спецвзуття, або використовувати спецодяг і спецвзуття одноразового використання. Після завершення роботи спецодяг потрібно зняти і одягнути особистий одяг, взути особисте взуття. Пральню спецодягу та чищення спецвзуття слід проводити в спеціально виділених приміщеннях або на спеціалізованих підприємствах. Виходити в спецодязі та спецвзутті за межі птахівничої зони, а також виносити їх з меж території категорично заборонено.

Після закінчення робочого дня працівники господарства повинні приймати душ. Використання одноразового одягу заборонено. Відвідування птахівничого господарства ззовні дозволяється лише за дозволом головного лікаря ветеринарної медицини господарства. Ці особи повинні пройти санітарну обробку у ветеринарно-санітарному пропускнику, одягнути спеціальний одяг і взути спеціальне взуття. Для цього в санпропускнику зберігається спеціальний запас халатів і взуття. Заборонено входити у виробничі приміщення, контактувати з птицею і кормами всім особам, крім обслуговуючого персоналу.

Всім працівникам господарства заборонено курити у цехах та на території, за винятком спеціально відведених місць для цього.

Приймання їжі відбувається у спеціально відведених місцях, таких як кімнати або адміністративно-господарські приміщення, де обладнані їдальні або пункти харчування, з дотриманням відповідних будівельних і санітарних норм. При вході в пташники, інкубаторії, забійні і кормові цехи, склади та інші приміщення для дезінфекції взуття обладнують дезінфекційні ванни (спеціально зацементовані ями) або ящики на всю ширину проходу довжиною 1,6 м, які регулярно наповнюють дезінфекційними розчинами.

У всіх приміщеннях птахівників, кормоцехів, кормоскладів, зерносховищ та інших об'єктах встановлюються рами з сіткою на вікнах, дверях та вентиляційних отворах, щоб уникнути проникнення диких птахів та бродячих тварин. Також проводиться постійна боротьба з мишоподібними гризунами та шкідливими комахами відповідно до діючих інструкцій та настанов [33].

### **3.7. Забезпечення пожежовибухонебезпеки**

Запобіжні заходи та засоби для уникнення утворення горючого середовища визначаються характеристиками пожежонебезпечних речовин і матеріалів, які використовуються у технологічних процесах, а також умовами цих процесів. Вибір цих заходів здійснюється на основі аналізу можливих причин утворення горючого середовища у приміщеннях та всередині обладнання, наприклад:

1. Виявлення та усунення нещільностей у обладнанні, через які можуть витікати вибухонебезпечні гази або натікати повітря з ними.
2. Контроль за місцями зберігання, переливання та наливу легкозаймистих і горючих рідин.
3. Виявлення та усунення джерел утворення та місць накопичення вибухонебезпечного пилу.
4. Організація місць для зберігання твердих горючих речовин та їх контроль.

Ці заходи спрямовані на запобігання можливості утворення горючого середовища та зниження ризику виникнення пожежі.

До загального комплексу заходів для запобігання утворенню горючого

середовища відносяться:

1. Заміна горючих речовин та матеріалів на негорючі або важкогорючі.
2. Обмеження кількості горючих речовин та матеріалів у приміщеннях.
3. Ізоляція горючих речовин у відокремлені відсіки або камери, а також розміщення пожежонебезпечного обладнання у безпечних зонах.
4. Контроль за концентрацією горючих речовин та використання флегматизаторів для зниження ризику вибухів.
5. Забезпечення безпечних параметрів технологічних процесів, щоб уникнути утворення вибухонебезпечних сумішей та поширення полум'я.
6. Механізація та автоматизація технологічних процесів з використанням горючих речовин.
7. Встановлення автоматичного захисту та запобіжних пристроїв для устаткування з горючими речовинами.
8. Видалення пожежонебезпечних відходів виробництва.

При виконанні вказаних заходів і засобів, ймовірність утворення горючого середовища може значно зменшитися, але не повністю виключитися. Отже, в системі запобіжних заходів, спрямованих на запобігання пожежам, велику роль відіграють заходи та засоби, спрямовані на уникнення виникнення джерел запалювання в горючому середовищі.

Вимоги до облаштування, кількості та розміщення евакуаційних виходів з приміщень та з кожного поверху будівель встановлені чинними будівельними нормами ДБН В. 1.1-7-2016 [33]. Ці вимоги спрямовані на забезпечення безпеки людей у разі пожежі та забезпечення можливості швидкого та безпечного виходу з будівель в небезпечних ситуаціях.

Кожен поверх будівлі має мати щонайменше два виходи для евакуації. Розташування цих виходів повинно бути оптимальним, враховуючи розміри та конфігурацію будівлі. Шляхи евакуації повинні мати достатню ширину та висоту для забезпечення безпечного руху людей. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу з будівлі, але можуть бути відчинені всередину у випадку, коли в приміщенні перебуває невелика кількість людей. У

разі присутності людей в приміщенні, двері евакуаційних виходів можуть бути зачинені тільки на внутрішні запори, які можна швидко відкрити. Встановлення розсувних дверей на шляхах евакуації не допускається. Мінімальна ширина дверей на шляхах евакуації має бути не менше 0,8 метра. Ширина зовнішніх дверей сходових кліток повинна бути не меншою за ширину сходів. Час евакуації є важливим показником ефективності, і він залежить від категорії приміщень, їхньої вогнестійкості та обсягу, а також від можливих загроз вибуху та пожежі.

Для забезпечення організованого руху та запобігання паніці під час евакуації, розробляються плани евакуації. Такий план містить графічну і текстову частини. Графічна частина представляє собою план поверху або приміщення, на якому показані маршрути евакуації, місця виходів, та позначені місця розташування засобів оповіщення та пожежогасіння. Текстова частина включає перелік та послідовність дій для керівництва посадових осіб і працівників у випадку пожежі [31].

## РОЗДІЛ 4

### ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Надзвичайна ситуація - це випадок, коли на певній території або установі виникає небезпечна обстановка, яка порушує звичайні умови життя та може призвести до загрози для життя та здоров'я людей. Ця обстановка може бути викликана різними подіями, такими як катастрофи, аварії, пожежі, природні катастрофи, епідемії, токсикологічні або інші небезпечні ситуації, які призводять до значних матеріальних збитків та неможливості продовження звичайної життєдіяльності на даній території або об'єкті.

Вимоги до безпечності підприємства визначаються через:

1. Організаційні заходи, які включають в себе правила, процедури та системи управління безпекою для забезпечення безпечного та ефективного функціонування підприємства.

2. Технічні заходи, які охоплюють використання спеціальних технологій, обладнання та інженерних рішень для забезпечення безпеки праці та захисту працівників та майна.

3. Гранично допустимі значення показників безпечності, які встановлюються для керування ризиками та мінімізації можливих негативних наслідків на підприємстві.

Вимоги до фізичного захисту підприємства формулюються через технічні та організаційні заходи, які включають у себе настанови та правила. Ці заходи спрямовані на дві основні мети:

1. Запобігання несанкціонованому поширенню джерел небезпеки, що перебувають на підприємстві. Це може включати заходи з контролю за доступом, моніторинг та обмеження доступу до потенційно небезпечних об'єктів або зон.

2. Попередження несанкціонованого доступу до встановлених в проєкті вразливих місць. Це включає у себе заходи безпеки, такі як установка систем відеоспостереження, застосування контрольно-пропускних пунктів, встановлення фізичних бар'єрів та інші заходи для запобігання несанкціонованому

проникненню в зони з обмеженим доступом.

Показники безпеки та їх номенклатура мають бути сконструйовані таким чином, щоб можна було оцінити як індивідуальні, так і загальні ризики для різних груп людей від різних чинників, включаючи транскордонні наслідки цих чинників.

Забезпечення відповідного рівня безпеки вимагає проведення спеціальних заходів на всіх етапах життєвого циклу підприємства, починаючи від проектування і закінчуючи ліквідацією. При вирішенні питань щодо безпеки необхідно враховувати характеристики конкретного підприємства. Діяльність будь-якого підприємства може впливати на здоров'я та тривалість життя його персоналу, місцевого населення та стан навколишнього середовища [34].

Принципи захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій (НС) спрямовані на оптимальне вирішення таких завдань:

1. Пріоритетність заходів, спрямованих на захист людей, збереження їх здоров'я, а також охорону довкілля.
2. Обов'язковість планування та впровадження заходів з урахуванням економічних, природних та інших особливостей регіону, а також ймовірності виникнення НС.
3. Комплексне застосування засобів захисту та вибір найбільш раціональних методів.
4. Забезпечення вільного доступу населення до інформації про заходи захисту від НС.
5. Особиста відповідальність керівників органів цивільного захисту та піклування громадян про власну безпеку, що включає дотримання правил поведінки та дій в умовах надзвичайних ситуацій.

Заходи з евакуації населення передбачають проведення вивезення або виведення населення з потенційно небезпечних місць до початку надзвичайної ситуації або під час загрози, зокрема зон з можливими ризиками надзвичайних подій, таких як затоплення чи зараження. Це передбачає переміщення людей до безпечних районів на тимчасове або постійне проживання. У випадку

недостатнього наявності захисних споруд у містах та інших населених пунктах з об'єктами підвищеної небезпеки, а також в разі війни, евакуація є основним засобом захисту населення. Планування та підготовка до проведення евакуації проводяться заздалегідь [35].

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРИРОДООХОРОННОГО ЗАХОДУ

Економія умовного палива за рахунок отриманого протягом року біогазу становить:

$$B_{y.n.} = \frac{E_{заг.б} \cdot t_{роб.річн.}}{Q_y}, \quad (5.1)$$

де  $B_{y.n.}$  – річна економія умовного палива, кг;  $t_{роб. річн.}$  – річний час роботи біогазової установки, діб;  $Q_y$  – теплота згорання умовного палива, МДж/кг.

Вважають, що біогазова установка виробляє біогаз впродовж 350 днів (на профілактичний ремонт біогазової установки дається 15 діб). Теплота згорання умовного палива становить 29,3 МДж/м<sup>3</sup>.

Економія умовного палива за рахунок отриманого протягом року біогазу за формулою (4.1) становить:

$$B_{y.n.} = \frac{1472,3 \cdot 350}{29,3} = 17,6 \text{ т.у.п.}$$

За розрахунками, за рік з одного пташника можна отримати 17,6 тонн умовного палива біогазу.

Повна собівартість товарного біогазу, з урахуванням виду сировини для виробництва біогазу, потужності установки та вартості логістики до кінцевого споживача, може складати 340-570 €/1000 м<sup>3</sup> [36]. Отже захід є економічно ефективним та може впроваджуватися на підприємстві.

## ВИСНОВКИ

1. ПАТ "Відрадне" займається виробництвом та продажем курячих яєць, розведенням і продажем курей-несучок, а також займається рослинництвом. Поголів'я курей на підприємстві становить 15 тисяч голів. Птахофабрика "Відрадне" використовує обладнання, яке відповідає світовим стандартам якості. Процес виробництва харчових яєць організовується таким чином, щоб забезпечити рівномірне виробництво протягом всього року. Для цього промислове стадо курей-несучок складають багаторазово протягом року відповідно до графіку, з урахуванням певних інтервалів часу. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільний потік виробництва яєць незалежно від сезонних коливань чи інших факторів, забезпечуючи постійний доступ до цього продукту протягом усього року.

2. Птахофабрика викидає стічні води з високим рівнем забруднення, що включає жир, кров, мийні засоби, пух і пір'я, солі, не розчинні мінеральні речовини та залишки кормів

3. Порахувавши максимальні концентрації шкідливих речовин, видно що найбільшу загрозу для атмосферного повітря та здоров'я людей буде чинити діоксид азоту ( $5,58 \text{ мг/м}^3$ ), а найменшу загрозу сажа ( $0,38 \text{ мг/м}^3$ ). Окрім того на атмосферне повітря впливають неприємні запахи, що утворюються внаслідок розкладання посліду та інших органічних відходів.

4. Основний забруднювач довкілля – курячий послід, що представляє собою складну і різноманітну структуру, яка містить як органічні, так і неорганічні сполуки. Цінність посліду як добрива визначається в основному за вмістом таких хімічних елементів, як азот, фосфор та калій.

5. Одним з найоптимальніших шляхів утилізації посліду є переробка сировини в метан, яка відбувається завдяки складним взаємодіям у змішаних популяціях мікроорганізмів. Ці мікроорганізми можна розділити на чотири основні групи за їхніми способами обміну речовин: аеробні гідролізні, анаеробні кислотоутворюючі, анаеробні воднеутворюючі та анаеробні метаноутворюючі.

6. Розрахунки показують, що за рік з одного пташника можна отримати 17,6 тонн умовного палива біогазу, що є економією альтернативних видів палива.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Відрадненське ПРАТ. Режим доступу: <https://vidradnenske.business-guide.com.ua/> (дата звернення 05.03.24)
2. Царук Л.Л. Технологія виробництва продукції птахівництва. Вінниця: ВНАУ. 2019. 90 с.
3. Патрева Л.С., Коваль О.А. Технологія виробництва продукції птахівництва: курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2018. 248 с.
4. Рябініна О.В., Іщенко Ю.Б. Блок-схема технології виробництва харчових яєць курей в невеликих та середніх птахівничих підприємствах згідно системи НАССР. Державна дослідна станція птахівництва НААН. 2018. Режим доступу: [www.haccp.avianua.com](http://www.haccp.avianua.com) (дата звернення 24.03.24)
5. З. С. Одноріг, О. Р. Василюк, О. І. Рубай, Д. О. Березюк. Модернізація технологічної лінії очищення стічних вод птахофабрики. Науковий вісник НЛТУ України, 29(3), 2019. 95-98 с.
6. Вплив ТЕС на навколишнє середовище. Режим доступу: <https://kek.edu.ua/tema-4-1-vpliv-tes-na-navkolishn%D1%94-seredovishhe/> (дата звернення 04.04.24)
7. Кам'яне вугілля. Режим доступу: [https://www.npblog.com.ua/geologiya/703-kamyane-vuhillya.html#google\\_vignette](https://www.npblog.com.ua/geologiya/703-kamyane-vuhillya.html#google_vignette) (дата звернення 04.04.24)
8. Як тваринництво шкодить планеті. Про що мовчить тваринницька промисловість. Режим доступу: <https://dnister.in.ua/articles/140717/yak-tvarinnictvo-shkodit-planeti-pro-scho-movchit-> (дата звернення 08.04.24)
9. Біопрепарати для компостування пташиного посліду Режим доступу: <http://avianua.com/index.php/statti-z-ptakhivnitstva/tekhnologiya-ptakhivnitstva/23-biopreparati-dlya-kompostuvannya-ptashinogo-poslidu> (дата звернення 18.04.24)
10. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Підготовка субстратів для збільшення ефективності метаногенерації. Інноваційні технології в АПК: матер. VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С.

119-121.

11. Мельник В.О. Пташиний послід: вихід, хімічний склад та основні способи переробки. Інститут птахівництва НААН. Режим доступу: <http://avianua.com/index.php/statti-z-ptakhivnitstva/tekhnologiya-ptakhivnitstva/12-ptashinij-poslid-himichnyj-sklad#content> (дата звернення 24.04.24)

12. Поліщук В. М. Біотехнологічні основи виробництва біогазу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2013. - Вип. 185(2). - С. 289-296.

13. Голуб Г.А., Дубровін В.О. Біогаз. Поліський Нац. Ун-тет. Київ, 2015. 48 с

14. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування. Мелітополь: ТДАТУ. 2009. Вип. 9. Т. 1. С. 20-30

15. Іванченко А.В. Енерго- і ресурсозберігаючі технології неорганічних виробництв. Кам'янське: ДДТУ, 2022. 51 с.

16. Біотехнологія: методичні вказівки до виконання лабораторних і ББЗ практичних робіт / уклад.: В.М. Удод, М.Ю. Яців. К.: КНУБА, 2012. 20 с.

17. Біогазові установки. Методи завантаження. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/8984671/page:4/> (дата звернення 05.05.24)

18. Постернак Л.І., Голубенко Т.Л.. Енергозберігаючі технології виробництва продукції тваринництва. Вінниця: ВНАУ, 2015. 40 с.

19. Іванченко А.В. Безвідходні хімічні технології. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 41 с.

20. Пушкін С.П., Почкай М.В., Обґрунтування раціональних параметрів зброджування побутових відходів в реакторі біогазової установки. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». 2017. № 32. С.66-73.

21. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin, 2014. Vol.16. No2. b. P.183-188.

22. Чучуй В.П. Альтернативні джерела енергії. Одеса: ТЕС, 2015. 234 с.
23. М. Д. Мельничук. Підвищення економічної ефективності виробництва біогазу : монографія Київ, 2014. 335 с.
24. Біомаса та її підготовка до біогазового виробництва – AgroBiogas . Режим доступу: <https://agrobiogas.com.ua/biomass-and-its-preparation-for-biogas-production/> (дата звернення 10.05.24)
25. Теплота згоряння палива. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9917886/page:3/> (дата звернення 12.05.24)
26. Батлук В.А., Кулик М.П., Яцюк Р.А. Охорона праці. Навч. посібник. 3-те вид. доп. Львів: В-во «Львівська політехніка», 2011. 388 с.
27. Наказ № 53 від 03.07.2001 «Про затвердження Ветеринарно-санітарних правил для птахівничих господарств і вимог до їх проектування».
28. ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
29. Ткачук А.І., Богомаз-Назарова С.М. Основи охорони праці. Кропивницький, 2017. 156 с.
30. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
31. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник. М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.
32. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»
33. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»
34. Янчик О.Г. Запобігання аварій на виробництві : навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2022. – 180 с.
35. Левченко О.Г. Охорона праці та цивільний захист. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 420 с.
36. Вартість збагачення біогазу до біометану. Режим доступу: <https://saf.org.ua/news/616/> (дата звернення 15.05.24)