



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Бабій А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)  
студенту Зваричу Олегу Андрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесів гноєочищення тваринницьких приміщень і транспортування гною з модернізацією виконавчих механізмів

Керівник роботи Цьонь Ганна Богданівна, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 року

**3. Вихідні дані до роботи** спроєктувати відгодівельний комплекс для 2000 свиней з удосконаленням процесів гноєочищення тваринницьких приміщень

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. 1. Аналіз етапів утилізації гною. 2. Покращення технології утилізації гною з ферми по відгодівлі свиней. 3. Обґрунтування застосування шнекових насосів в системі утилізації гною. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
1. Схема утворення, зберігання, використання та шляхів поширення гною і гнойових стоків свиноферми у навколишньому середовищі – 1А4. 2. Утворення, трансформація та шляхи міграції сполук азоту при поводженні з гноєм тваринницьких ферм – 1А4.  
3. Технологічні схеми внесення, винесення і компостування гною – 1А4. 4. Приміщення для відгодівлі 500 свиней – 1А4. 5. Транспортер гвинтовий. Складальне креслення – 1А4.  
6. Секція лопатевого шнека. Складальне креслення – 1А4. 7. Деталювання – 1А4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Лазарюк В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання

23 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Аналіз етапів утилізації гною	до 12.05.2026	
2	Покращення технології утилізації гною з ферми по відгодівлі свиней	до 26.05.2026	
3	Обґрунтування застосування шнекових насосів в системі утилізації гною	до 10.06.2026	
4	Безпека життєдіяльності. Основи охорони праці	до 10.06.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 15.06.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 15.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Зварич О.А.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Цьонь Г.Б.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Зварич Олег Андрійович.

**Тема роботи** – «Удосконалення процесів гноєочищення тваринницьких приміщень і транспортування гною з модернізацією виконавчих механізмів».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин ТНТУ імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Цьонь Ганна Богданівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (35 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 60 сторінок на яких є 16 рисунків, додатки розміщені на 2 сторінках. Ілюстративний матеріал розміщений на 9 аркушах формату А4.

**Актуальність теми роботи.** Інтенсивний розвиток тваринництва супроводжується значним збільшенням обсягів утворення гною, що створює екологічні, санітарні та технологічні проблеми на свинокомплексах. Ефективне вирішення цих проблем можливе шляхом впровадження механізованих систем транспортування та переробки гнойових мас.

Удосконалення технології утилізації гною та конструкції шнекових насосів дозволяє підвищити продуктивність обладнання, зменшити енерговитрати та покращити екологічні показники роботи тваринницьких підприємств, що й визначає актуальність теми роботи.

**Мета роботи.** Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є покращення технології утилізації гною на свинофермі шляхом удосконалення конструкції вертикального шнекового насоса та обґрунтування його технологічних і конструктивних параметрів.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є технологічний процес утилізації та транспортування гнойової суміші на свинофермі із застосуванням шнекових транспортних механізмів, сепараторів і вертикальних шнекових

насосів у системі переробки органічних відходів.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження є конструктивно-технологічні та енергетичні параметри вертикального шнекового насоса і шнекових транспортних механізмів у системі утилізації та переробки гнойової суміші на свинофермі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення отриманих результатів полягає у вдосконаленні технології утилізації гною на свинофермі шляхом застосування модернізованого вертикального шнекового насоса та шнекових транспортних механізмів. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити продуктивність транспортування гнойової суміші, зменшити енерговитрати, покращити умови переробки органічних відходів і знизити негативний вплив тваринницького виробництва на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** утилізація гною, свиноферма, шнековий насос, шнековий транспортер, сепарація гною, транспортування гною, компостування.

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ЕТАПІВ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ	8
1.1 Загальна характеристика проблеми утилізації гною	8
1.2 Загальна характеристика технологічного руху гною	13
1.3 Огляд механізмів переробки гною тваринницьких ферм	17
2 ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ	22
3 ФЕРМИ ПО ВІДГОДІВЛІ СВИНЕЙ	
2.1 Визначення об'ємно-масових показників утворення гною на свинофермі	22
2.2 Вибір технологічної схеми та механізмів утилізації гною свиногомплексу	24
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШНЕКОВИХ НАСОСІВ В СИСТЕМІ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ	30
3.1 Технологічне опрацювання та оцінювання енергоспоживання циліндричного вертикального шнекового насоса	30
3.2 Підбір і техніко-технологічне обґрунтування конструктивних параметрів модернізованого вертикального шнекового насоса	36
3.3 Визначення та інженерний розрахунок приводного вала шнекового механізму	40
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	44
4.1. Організація робіт по техніці безпеки та охороні праці	44
4.2. Санітарно-гігієнічні вимоги по догляду за тваринами	46
4.3 Розрахунок вентиляції та опалювання	47
4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55
ДОДАТКИ	60

## ВСТУП

Сучасний розвиток тваринництва характеризується високим рівнем концентрації поголів'я, інтенсифікацією виробничих процесів та широким застосуванням механізованих систем утримання тварин. За таких умов значно зростають обсяги утворення органічних відходів, серед яких особливе місце займає гній. У структурі функціонування свиноферм та свинокомплексів проблема ефективного поводження з гноєм набуває не лише виробничого, а й важливого екологічного, економічного та санітарно-гігієнічного значення.

Нераціональне накопичення та зберігання гною призводить до забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, підвищення викидів шкідливих газів у атмосферу, поширення неприємних запахів та розвитку патогенної мікрофлори. Водночас гній є цінною вторинною сировиною, яка містить значну кількість органічної речовини та поживних елементів, необхідних для підтримання родючості ґрунтів і виробництва органічних добрив. Саме тому сучасні технології тваринництва повинні передбачати не лише видалення гною з приміщень, а й його комплексну механізовану переробку та раціональне використання.

Особливого значення набуває впровадження ефективних технологічних схем транспортування, сепарації, санітарної обробки та компостування гнойових мас. Важливою складовою таких систем є шнекові транспортні та насосні механізми, які забезпечують безперервність технологічного процесу, зменшення енерговитрат і підвищення продуктивності обладнання. Використання шнекових насосів у системах утилізації гною дозволяє механізувати процеси переміщення гнойової суміші, стабілізувати її подачу та покращити умови функціонування технологічних ліній переробки органічних відходів.

# 1 АНАЛІЗ ЕТАПІВ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

## 1.1 Загальна характеристика проблеми утилізації гною

Сучасне тваринництво функціонує в умовах високої концентрації поголів'я, інтенсивних технологій утримання та механізованих систем годівлі. За таких умов обсяги утворення гною на фермах зростають значно швидше, ніж можливості його традиційного використання. У результаті гній із побічного продукту виробництва перетворюється на складну техніко-екологічну проблему, що потребує системного інженерного вирішення [7, 15, 19].

Основна суть проблеми утилізації гною полягає у невідповідності між кількістю утворюваних органічних відходів і здатністю господарств безпечно та ефективно їх переробляти або використовувати. За відсутності сучасних технологій поводження з гноєм виникають значні ризики для довкілля, здоров'я людей і сталості аграрного виробництва.

Кількість гною, що утворюється на тваринницьких фермах, прямо залежить від виду тварин, системи утримання та раціону годівлі. Великі комплекси з вирощування великої рогатої худоби або свиней продукують десятки тисяч тон гною на рік, що створює серйозне навантаження на інфраструктуру господарства.

Накопичення значних обсягів гною без належної утилізації призводить до:

- перевантаження гноїсховищ;
- порушення технологічної дисципліни;
- необхідності аварійного вивезення гною без дотримання агротехнічних вимог.

Таким чином, масштаб утворення гною є одним з ключових чинників, що формує актуальність проблеми його утилізації.

*Фізико-хімічна складність гною як об'єкта утилізації.* Гній є складною багатокомпонентною системою, що містить воду органічні речовини, азот, фосфор, калій, мікроелементи та патогенну мікрофлору. Висока вологість і нестабільність складу ускладнюють його зберігання, транспортування та використання.

Суть проблеми полягає в тому, що гній одночасно є цінним добривом і потенційно небезпечним відходом за неправильного поводження він стає джерелом втрат поживних речовин, утворенням токсичних сполук та поширення хвороботворних мікроорганізмів [11, 21].

На рисунку 1.1 показана схема впливу відходів тваринницьких ферм та на довкілля

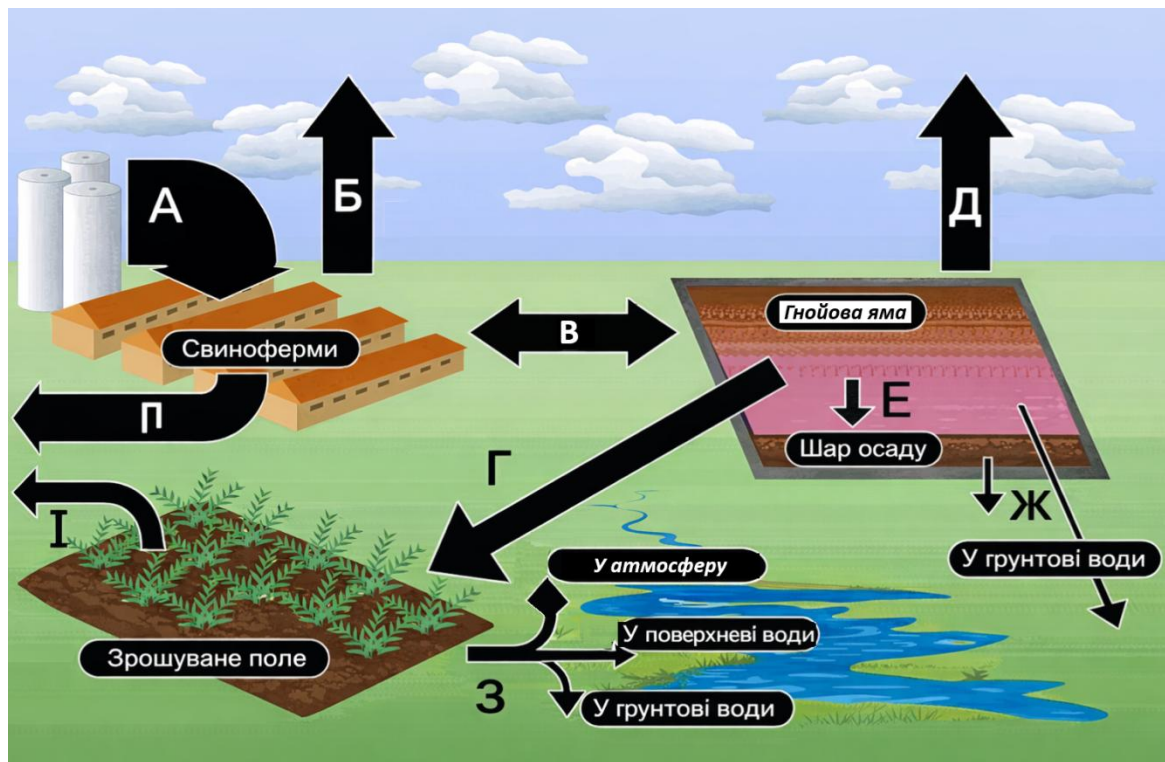


Рисунок 1.1 – Схема утворення, зберігання, використання та шляхів поширення гною і гнойових стоків свиноферми у навколишньому середовищі

Схема утворення, зберігання, використання та шляхів поширення гною і гнойових стоків свиноферми у навколишньому середовищі включає такі етапи:

- А – утворення гною та рідких гнойових стоків у свинарниках;

- Б – викиди газоподібних продуктів (аміак, метан, сірководень) у атмосферу;
- В – транспортування гною від свиноферми до гноєсховища (гноївкової ями);
- Г – внесення гною (гноївки) на зрошувальне / удобрювальне поле;
- Д – газові викиди в атмосферу з гноєсховища (гноївкової ями);
- Е – осідання твердих часток гною з утворенням шару осаду;
- Ж – фільтрація (інфільтрація) рідкої фракції гною у ґрунтові води;
- І – Вивід продукції сільського господарства; П – Вивід продукції тваринництва;
- З – потрапляння забруднювальних речовин у атмосферу, поверхневі та ґрунтові води внаслідок розсіювання і стоку.

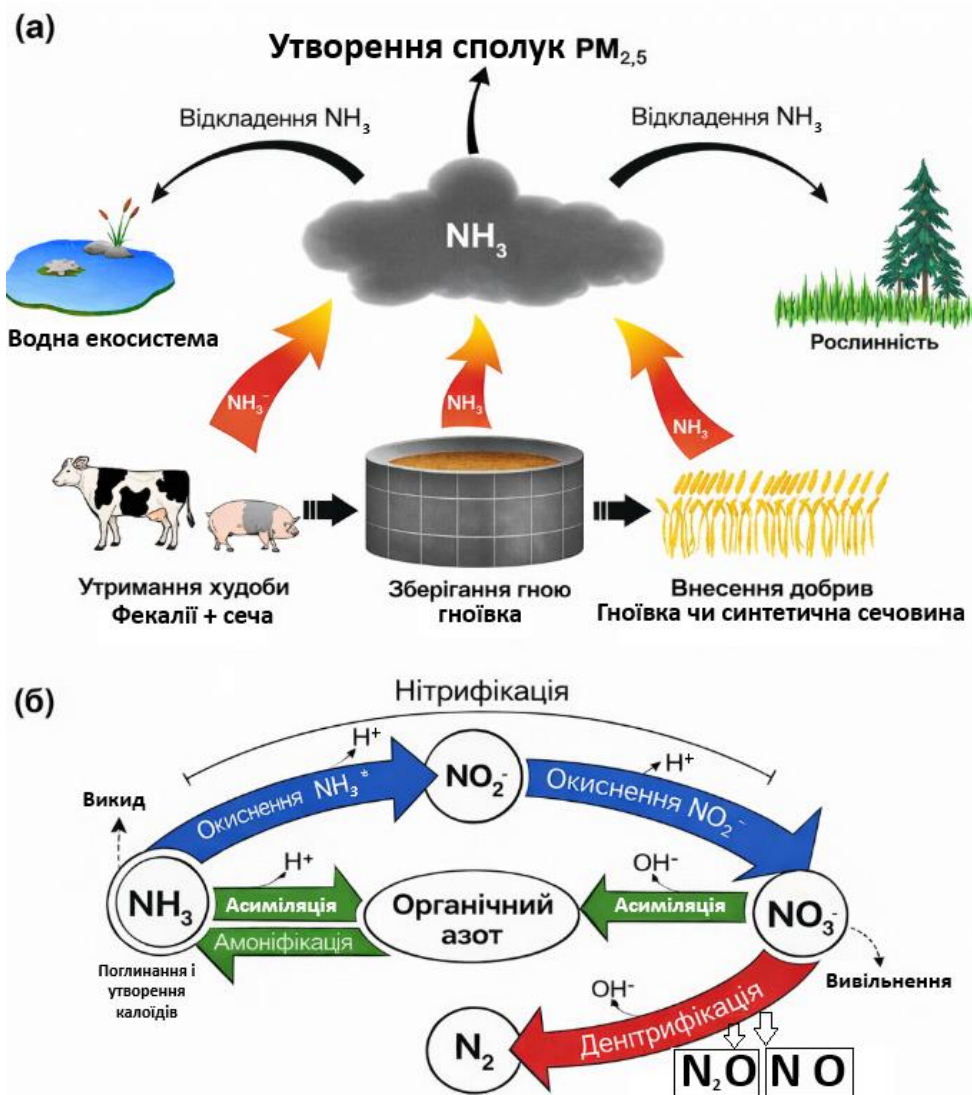
*Екологічні аспекти проблеми утилізації гною.* Одним із найбільш гострих аспектів проблеми утилізації гною є його вплив на довкілля. Потрапляння рідких фракцій гною у ґрунтові та поверхневі води призводить до їх забруднення нітратами та фосфатами, що викликає евтрофікацію водойм.

Крім того, у процесі зберігання гною відбуваються значні викиди аміаку, метану та закису азоту (рис. 1.2), які:

- погіршують якість повітря;
- сприяють утворенню неприємних запахів;
- підсилюють парниковий ефект.

Таким чином, нераціональна утилізація гною має як локальні, так і глобальні екологічні наслідки.

*Санітарно-гігієнічні та епізоотичні ризики.* Гній є потенційним носієм патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів та збудників інфекційних захворювань. За відсутності належної обробки він становить загрозу не лише для тварин, а й для обслуговуючого персоналу та населення прилеглих територій.



а – утворення та атмосферна міграція аміаку ( $NH_3$ ) з джерел тваринництва і добрив з подальшим формуванням дрібнодисперсних частинок  $PM_{2,5}$  та депозицією на екосистеми;  
 б – мікробіологічні процеси трансформації сполук азоту в ґрунті: амоніфікація, нітрифікація, асиміляція та денітрифікація

Рисунок 1.2 – Утворення, трансформація та шляхи міграції сполук азоту при поводженні з гноєм тваринницьких ферм

Накопичення гною поблизу тваринницьких приміщень сприяє:

- розмноженню комах та гризунів;
- поширенню неприємних запахів;
- погіршенню мікроклімату у виробничих зонах.

Ці фактори безпосередньо впливають на продуктивність тварин та соціальне сприйняття тваринницьких підприємств.

*Технологічні обмеження традиційних методів утилізації.* Традиційне використання гною шляхом прямого внесення у ґрунт без попередньої підготовки має низку суттєвих обмежень. Нерівномірність складу та висока вологість ускладнюють дозування і призводять до перевищення допустимих норм внесення поживних речовин [10, 19].

Крім того, сезонність агротехнічних робіт не завжди збігається з періодами інтенсивного утворення гною, що змушує ферми накопичувати значні обсяги відходів у гноєсховищах.

*Економічна складова проблеми утилізації гною.* З економічної точки зору гній одночасно є потенційним джерелом доходу і значною статтею витрат. Витрати на його транспортування, зберігання та утилізацію зростають зі збільшенням масштабів виробництва.

Відсутність ефективних технологій переробки призводить до:

- втрат поживних речовин;
- додаткових витрат на мінеральні добрива;
- штрафних санкцій за порушення екологічних норм.

Таким чином, проблема утилізації гною має чітко виражений економічний вимір.

*Інженерна суть проблеми та напрями її вирішення.* З агроінженерної точки зору суть проблеми утилізації гною полягає у відсутності узгодженої системи машин і механізмів, здатних забезпечити повний технологічний цикл – від збирання до кінцевого використання продуктів переробки.

Ефективне вирішення проблеми можливе лише за умови:

- впровадження механізованих систем підготовки та переробки гною;
- застосування сепарації, біологічної та термічної обробки;
- інтеграції утилізації гною у загальну технологію ферми.

*Значення утилізації гною для сталого розвитку тваринництва.* Раціональна утилізація гною є важливою складовою концепції сталого розвитку аграрного виробництва. Вона дозволяє зменшити екологічне навантаження,

підвищити ефективність використання ресурсів та створити замкнені цикли поживних речовин у межах агроєкосистем.

Перехід від утилізації гною як відходу до його використання як ресурсу є одним із ключових завдань сучасної агроінженерії.

## **1.2 Загальна характеристика технологічного руху гною**

У сучасному тваринництві гній розглядається як потоковий матеріал, що проходить низку послідовних технологічних стадій – від моменту його утворення у тваринницькому приміщенні до кінцевого використання на сільськогосподарських угіддях. Рух гною є складним інженерно-технологічним процесом, який охоплює механізми збирання, транспортування, підготовки, зберігання, переробки та внесення у ґрунт [9, 11].

Раціональна організація цього руху має вирішальне значення для:

- екологічної безпеки виробництва;
- збереження поживних речовин;
- зменшення експлуатаційних витрат;
- підвищення ефективності використання органічних добрив.

*Утворення гною у тваринницьких приміщеннях.* Початковою ланкою руху гною є його утворення безпосередньо у приміщеннях для утримання тварин. Кількість і фізичний стан гною залежать від виду тварин, типу підстилки, способу годівлі та системи утримання (прив'язне, безприв'язне, кліткове).

На цьому етапі гній може мати:

- тверду форму (з підстилкою);
- напіврідку форму;
- рідку форму (безпідстилкове утримання).

Саме початковий стан гною визначає подальший вибір машин та механізмів для його переміщення.

*Збирання гною у тваринницьких приміщеннях.* Збирання гною є першою механізованою стадією його руху. Найбільш поширеними є:

- скреперні установки;
- ланцюгові транспортери;
- щілинні підлоги з підпідлоговими каналами.

Мета цього етапу – безперервне або періодичне видалення гною з робочої зони тварин, що покращує санітарні умови та мікроклімат у приміщеннях.

*Внутрішньофермське транспортування гною.* Після збирання гній транспортується до пункту зберігання або переробки. Для цього використовуються:

- шнекові транспортери;
- стрічкові та ланцюгові конвеєри (рис. 1.3);
- гідравлічні системи з насосами.

Вибір транспортного засобу залежить від відстані, ухилу трас та агрегатного стану гною. На цьому етапі важливо мінімізувати втрати матеріалу та енергії.



Рисунок 1.3 – Стрічкові транспортери для винесення гною за межі ферми

*Попередня підготовка та переробка гною.* Перед зберіганням або внесенням гній часто піддають підготовці, яка може включати:

- гомогенізацію;
- сепарацію на тверду і рідку фракції;
- біологічну або термічну обробку.

Цей етап дозволяє адаптувати властивості гною до вимог подальшого зберігання та агротехнічного використання. На рис.1.4 показана технологічна схема альтернативного отримання енергії з гною тваринницьких ферм.



Рисунок 1.4 – Технологічна схема отримання альтернативного джерела енергії з гною

*Зберігання гною та продуктів його переробки.* Зберігання є обов’язковою ланкою руху гною, зумовленою сезонністю польових робіт. Залежно від фізичного стану застосовують:

- гноєсховища для твердого гною;
- лагуни та резервуари для рідкого гною;

– ємності для дигестату.

На цьому етапі важливо запобігти втратам азоту, витіканню рідкої фракції та забрудненню довкілля.

*Транспортування гною від ферми до поля.* Польове транспортування гною здійснюється мобільними транспортними засобами [24]:

- гноєрозкидачами (рис.1.5);
- цистернами-розкидачами (рис.1.6);
- спеціалізованими причепами.



Рисунок 1.5 – Внесення твердих органічних добрив



Рисунок 1.6 – Внесення напіврідких органічних добрив

Цей етап є одним із найбільш енергоємних і потребує ретельного планування маршрутів, часу та норм навантаження.

*Логіка безперервного руху гною.* Рух гною від ферми до поля доцільно розглядати як єдиний технологічний потік, у якому кожна ланка повинна бути узгоджена з попередньою та наступною. Порушення цього зв'язку призводить до:

- перевантаження окремих механізмів;
- втрат поживних речовин;
- зростання експлуатаційних витрат.

З агроінженерної точки зору оптимізація руху гною полягає у мінімізації кількості перевантажень, скороченні транспортних плечей та впровадженні механізованих і автоматизованих систем.

*Значення організації руху гною для сталого землеробства.* Раціонально організований рух гною забезпечує замкнений цикл поживних речовин у системі «ферма – поле». Це сприяє:

- підвищенню родючості ґрунтів;
- зменшенню залежності від мінеральних добрив;
- підвищенню екологічної безпеки аграрного виробництва.

### **1.3 Огляд механізмів переробки гною тваринницьких ферм**

Сучасні тваринницькі ферми характеризуються високою концентрацією поголів'я, що супроводжується утворенням значних обсягів гною. За відсутності раціональних технологій переробки гній стає джерелом екологічних ризиків, зокрема забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також погіршення санітарно-гігієнічних умов у зоні розміщення тваринницьких комплексів [11, 21, 24].

Разом із тим гній є цінною вторинною сировиною, яка містить органічну речовину, макро- і мікроелементи, а також значний енергетичний потенціал. Саме тому в сучасному агроінженерному підході гній розглядається як ресурс, що підлягає обов'язковій механізованій переробці з метою його подальшого ефективного використання.

Переробка гною включає комплекс механічних, біологічних і термічних процесів, реалізація яких здійснюється за допомогою спеціалізованих машин і установок.

*Місце механізмів переробки у технологічному ланцюгу ферми.* Технологічна система поводження з гноем на тваринницьких фермах охоплює такі основні етапи:

- збирання гною у тваринницьких приміщеннях;
- транспортування до пункту переробки;
- механічну підготовку;
- основну переробку;
- зберігання та використання продуктів переробки.

Механізми переробки займають центральне місце у цій системі, оскільки саме на цьому етапі відбувається зміна фізичного стану, хімічного складу та санітарних властивостей гною. Від правильного вибору та узгодженої роботи обладнання залежить ефективність усієї технологічної лінії.

*Класифікація механізмів переробки гною.* Механізми переробки гною класифікують за функціональним призначенням і принципом дії на такі основні групи:

- механізми механічної підготовки гною;
- обладнання для біологічної переробки;
- термічні та фізико-хімічні установки;
- енергетичні установки (біогазові);
- комплексні автоматизовані лінії.

Така класифікація дозволяє систематизувати наявні технічні рішення та обґрунтувати доцільність їх використання в конкретних виробничих умовах.

*Механізми механічної підготовки гною.* Механічна підготовка гною є початковим етапом переробки та має вирішальне значення для подальших технологічних процесів. Основними завданнями цього етапу є:

- вирівнювання складу гною;
- подрібнення великих включень;
- забезпечення однорідності маси;
- підготовка до сепарації або біологічної переробки.

До основних механізмів механічної підготовки належать:

- лопатеві та гвинтові мішалки;
- гомогенізатори;
- шнекові, скребкові та насосні транспортери.

Застосування цих механізмів дозволяє стабілізувати параметри гною та зменшити нерівномірність навантаження на наступні агрегати.

*Механізми сепарації як складова переробки гною.* Сепарація є проміжним, але надзвичайно важливим етапом переробки гною. Вона полягає у розділенні маси на тверду та рідку фракції, що мають різне подальше призначення.

Механічні сепаратори дозволяють:

- зменшити об'єм рідкої фракції;
- підвищити концентрацію органічної речовини у твердій фазі;
- підготувати гній до компостування або анаеробного зброджування.

Найбільш поширеними є шнекові, ситові та центрифужні сепаратори, вибір яких визначається обсягами гною та вимогами до якості розділення.

*Механізми компостування гною.* Компостування є аеробним біологічним процесом переробки твердої фракції гною. Для його реалізації застосовуються спеціалізовані механізми, що забезпечують:

- аерацію компостної маси;
- перемішування;

– підтримання оптимальної вологості.

Основними машинами є ворушители компостних валків, барабанні компостери та системи примусової вентиляції. У результаті компостування (рис.1.7) отримують стабільний органічний продукт, придатний для тривалого зберігання та внесення у ґрунт.



Рисунок 1.7 – Спосіб компостування гною на фермах

*Біогазові установки для переробки гною.* Біогазові установки забезпечують анаеробну переробку гною з утворенням біогазу та дигестату. Основними елементами таких установок є приймальні бункери, метантенки з мішалками, системи підігріву та газгольдери.

Перевагою біогазових технологій є поєднання екологічної безпеки з можливістю отримання відновлюваної енергії. Дигестат після зброджування має стабільні властивості та може використовуватися як високоякісне органічне добриво.

*Термічні та фізико-хімічні механізми переробки.* Термічна переробка гною застосовується переважно на великих тваринницьких підприємствах. До таких механізмів належать сушильні установки, пастеризатори, гранулятори та брикетувальні преси.

Ці механізми забезпечують:

- глибоке знезараження;
- значне зменшення вологості;
- отримання концентрованих продуктів з високою транспортабельністю.

*Комплексні технологічні лінії переробки гною.* Сучасна тенденція розвитку агропромислового виробництва полягає у впровадженні інтегрованих ліній переробки гною, які об'єднують кілька технологічних операцій в єдину систему. Такі лінії характеризуються високим рівнем автоматизації, стабільністю роботи та мінімальним впливом людського фактора.

*Екологічна та економічна ефективність переробки гною.* Застосування механізмів переробки гною дозволяє:

- знизити навантаження на навколишнє середовище;
- скоротити втрати поживних речовин;
- отримати додаткові економічні вигоди у вигляді добрив та енергії.

Економічна ефективність переробки визначається не лише вартістю обладнання, а й зменшенням витрат на утилізацію та підвищенням продуктивності сільськогосподарського виробництва.

## 2. ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ З ФЕРМИ ПО ВІДГОДІВЛІ СВИНЕЙ

### 2.1 Визначення об'ємно-масових показників утворення гною на свинофермі

Обсяг гною, що утворюється на фермі без застосування підстилкового матеріалу,  $P_{доб}$ , т, для кожної категорії тварин визначають за формулою, наведеною у джерелі [9, 11, 21]

$$P_{доб} = 0,001(P_e + P_в + P_д + P_{max}) m_i, \quad (2.1)$$

де  $P_e$  – добовий об'єм екскрементів, що припадає на одну тварину, кг;

$P_в$  – кількість води, яка надходить у систему гноєвидалення на одну тварину протягом доби, з урахуванням витрат на миття годівниць, підлог, промивання гноєканалів та підтікання автонапувалок, л;

$P_д$  – добовий обсяг води, що додатково надходить при розведенні гною водою з кормоцеху та інших виробничих приміщень ферми, л;

$P_{max}$  – маса механічних домішок, що потрапляють у систему видалення гною за добу на одну тварину відповідної виробничої групи, кг; величину визначають за залежністю, кг,  $P_{max} = (0,002 \dots 0,01)P_e$ , приймаємо

$$P_{max} = 0,006 P_e;$$

$m_i$  – чисельність тварин у певній виробничій групі, гол. (див. табл. 2.1).

Показники добового виходу гною без застосування підстилки для умов відгодівельної ферми, що працює за спільною системою видалення, наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок обсягів безпідстилкового гною, що утворюється на свиновідгодівельній фермі

Група тварин	$P_e$ , л	$P_v$ , л	$P_o$ , л	$P_{max}$ , кг	$\Pi$ , гол	$P_{доб}$ , т
Свині масою, кг:						
20...30	2,4	1,5	3,2	0,014	400	2,8
30...40	3,5	2,5	4,0	0,021	400	4,0
40...60	4,3	2,4	4,0	0,026	400	4,33
60...80	5,1	2,5	4,0	0,031	400	4,7
>80	6,6	2,5	6	0,040	400	6,0
Всього						21,83

Свинокомплекс для відгодівлі 2000 свиней складається з 4-х ферм, рис. 2.1. В кожному приміщенні ферми утримується 500 голів свиней з добовим виділенням гною, який становить [1, 8]

$$P_{\phi} = \frac{P_{доб}}{4} = \frac{21,83}{4} \approx 5,5 \text{ т.}$$

Об'єм цих екскрементів складає

$$V_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{\rho}, \quad (2.2)$$

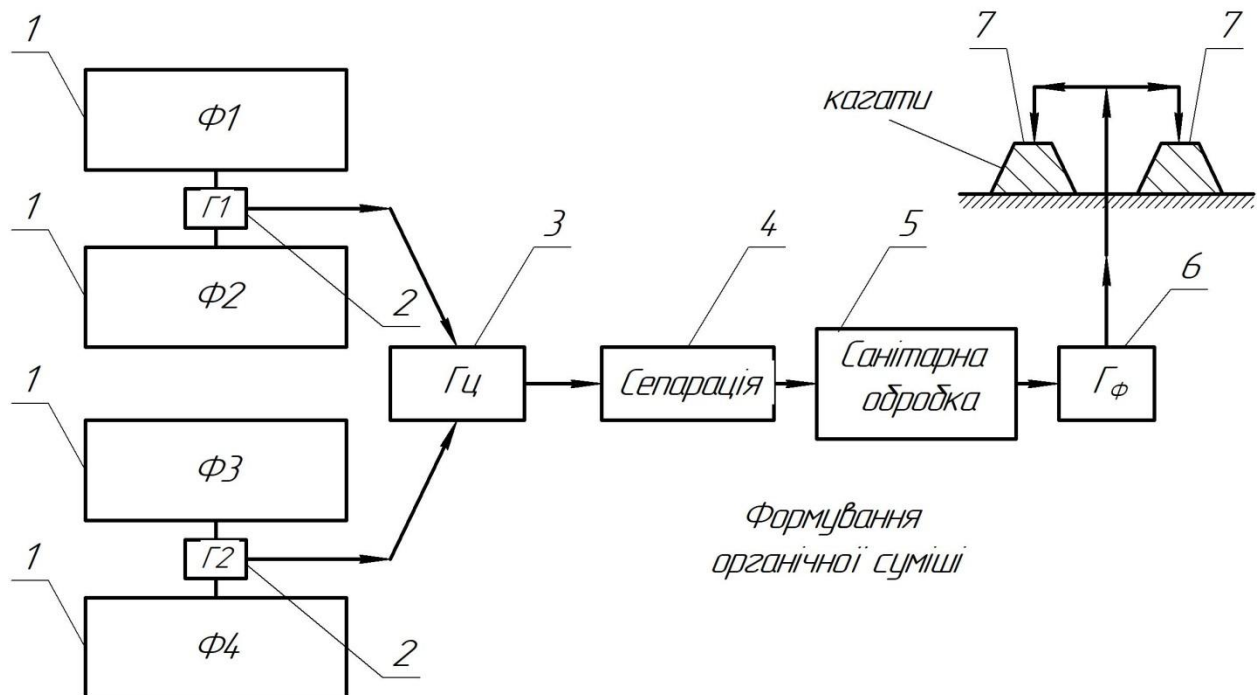
де  $\rho$  – питома вага гною,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,

Підставивши дані, одержимо

$$V_{\phi} = \frac{5500}{1000} = 5,5 \text{ м}^3.$$

## 2.2 Вибір технологічної схеми та механізмів утилізації гною свиногокомплексу

Технологічна схема руху гною від тваринницьких ферм до формування готової органічної суміші показана на рис. 2.1 [7, 15].



1 – приміщення ферм; 2 – проміжні гноєзбірники; 3 – центральний гноєзбірник; 4 – секція сепарації гною; 5 – секція санітарної обробки гною; 6 – секція формування органічної суміші; 7 – майданчик компостування органічної суміші

Рисунок 2.1 – Схема руху гною від тваринницької ферми до майданчика готової органічної суміші

Для виведення гною з приміщень ферми використовуємо шнекові транспортні механізми (рис. 2.2.). На кожній фермі утримується 500 голів свиней, які щодобово виділяють по  $V_{cp} = 5,5 \text{ м}^3$  органічних відходів. Відповідно до технологічної схеми див рис. 2.2. в проміжних гноєзбірниках за добу акумулюється  $V_{np} = 2 \cdot V_{cp} = 2 \cdot 5,5 = 11 \text{ м}^3$  гнойової суміші, а в центральному гноєзбірнику  $V_{ц} = 2 \cdot V_{np} = 2 \cdot 11 = 22 \text{ м}^3$  [3, 5, 26].

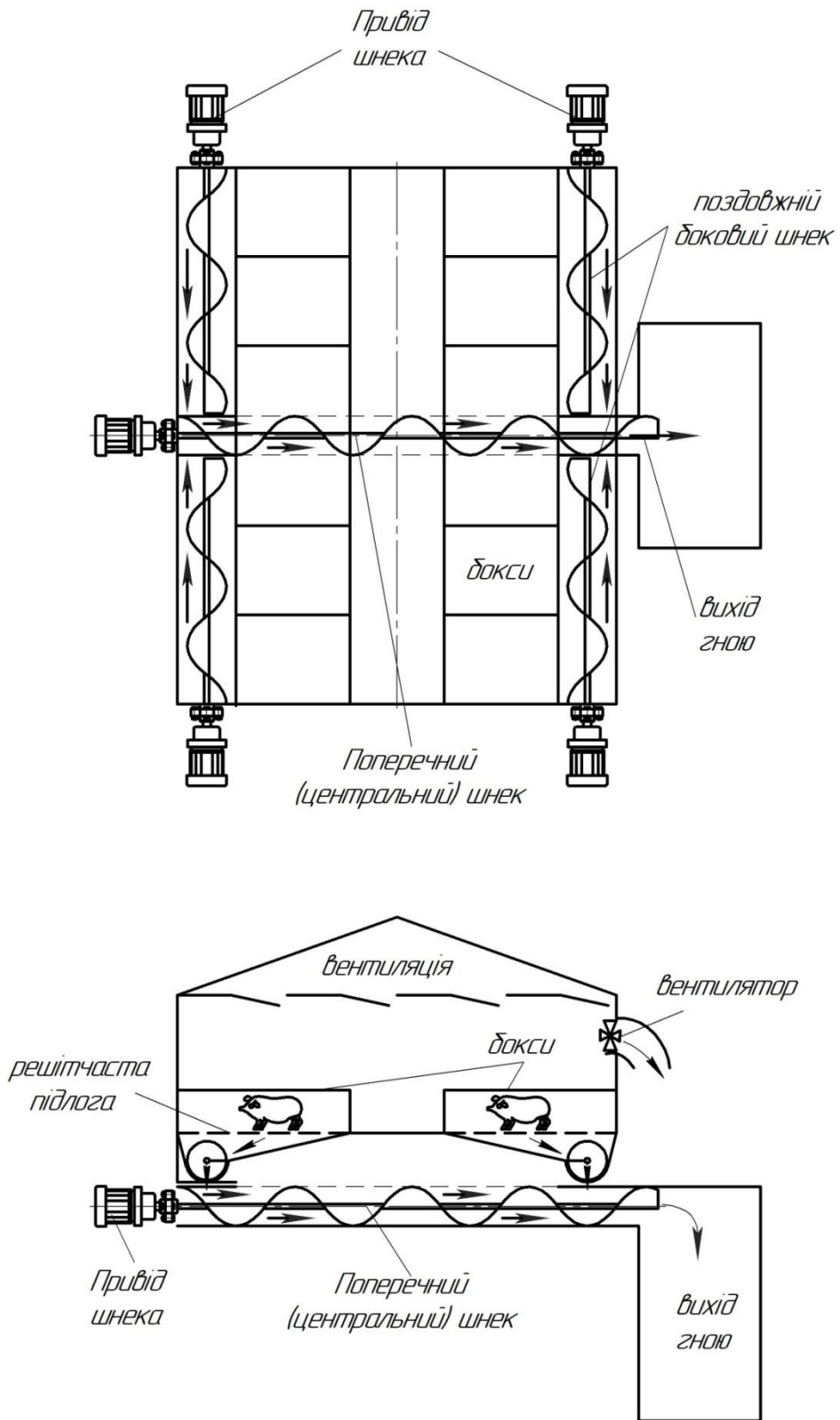


Рисунок 2.2 – Приміщення ферми з використанням шнекових транспортних механізмів для гноєвиділення

Одним із ключових технологічних заходів у системі переробки гною є його сепарація, тобто розділення на тверду та рідку фракції. Механізована сепарація дозволяє оптимізувати подальші операції зберігання, транспортування, біологічної чи термічної обробки, а також внесення органічних добрив в ґрунт. Рідка фракція гною після сепарації може використовуватися для удобрення полів у системах фертигації або подаватися на біологічну очистку.

Для даного технологічного процесу переробки гнойової суміші використовуємо шнекові сепаратори, вони є найбільш поширеними у сучасному тваринництві. Їх робота полягає на поєднанні транспортування, ущільнення та фільтрації гною. Основним робочим органом є шнек, який переміщає гнойову масу вздовж перфорованого кожуха, створюючи тиск, достатній для відділення рідкої фракції. Типова технологічна схема та натуральний взірець шнекового сепаратора показана на рис. 2.3-2.4.

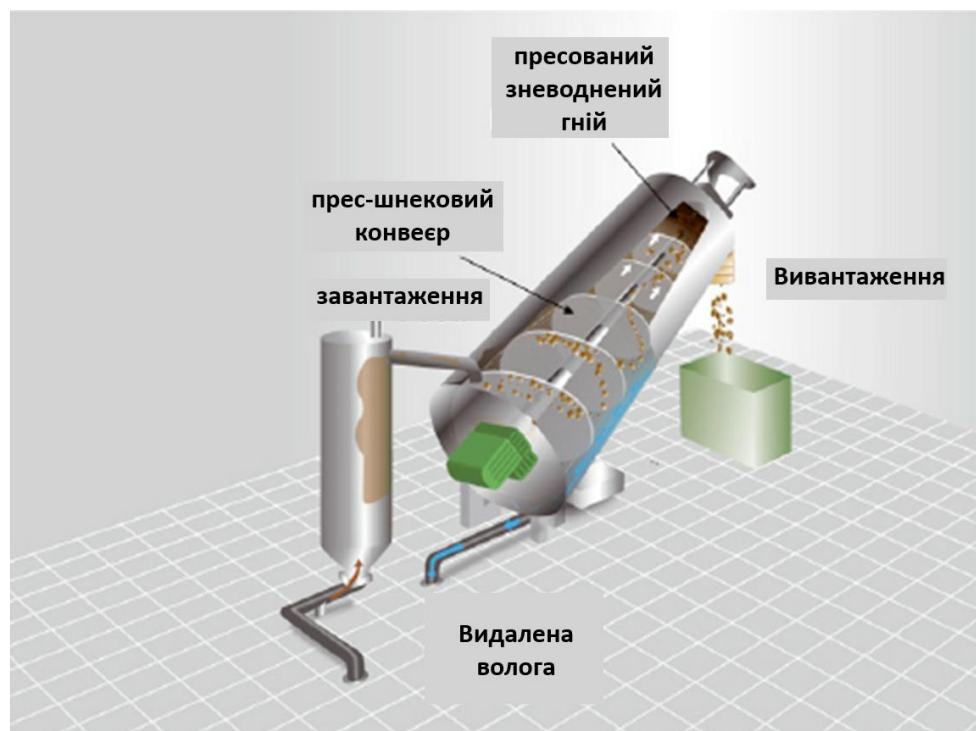


Рисунок 2.3 – Технологічна схема шнекового сепаратора гною



Рисунок 2.4 – Натуральний взірець шнекового сепаратора

Шнекові сепаратори широко застосовуються на фермах ВРХ та свинокомплексах. Основним робочим органом є шнек, який транспортує гній уздовж перфорованого циліндра.

У процесі руху: рідка фракція проходить крізь отвори сита; тверда фракція ущільнюється та вивантажується через конус або регульований пресувальний клапан.

Переваги:

- високий ступінь зневоднення твердої фракції;
- стабільність роботи;
- можливість регулювання вологості осаду.

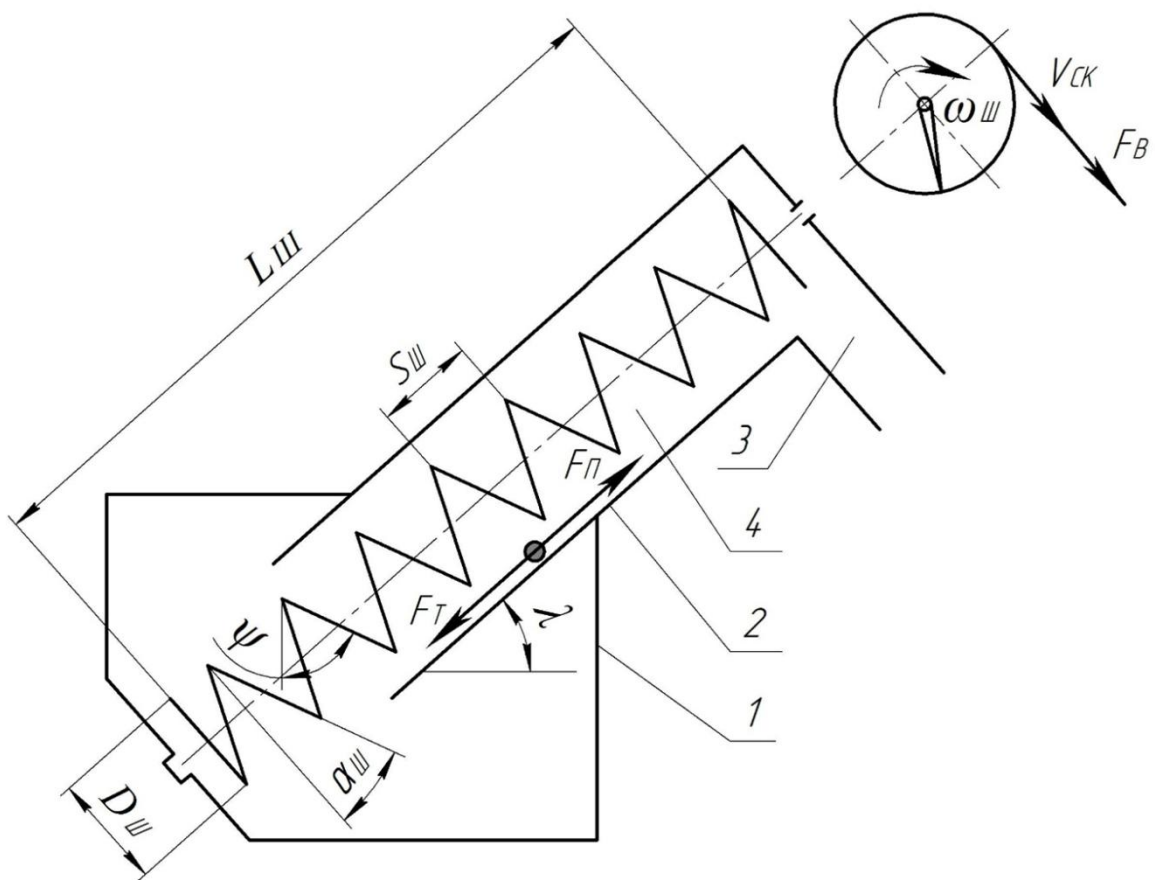
Недоліки:

- вища металоємність;
- підвищені вимоги до якості виготовлення шнека.

Переміщення сепарованої гнойової суміші з секції санітарної обробки гною до секції формування органічної суміші і подальшому переміщенню на майданчик компостування, застосовуємо шнекові насоси.

Конструктивне оформлення шнекових пристроїв може бути різноманітним, а розташування шнеків – горизонтальне, похиле та вертикальне.

Вивантажувальний механізм деяких шнекових транспортерів має поворотні шнеки, а також кілька взаємно пов'язаних шнеків, наприклад, вертикальний і поворотний зі змінним кутом нахилу. Вивантажувальні пристрої останнього типу застосовуються у кормоцехах, які піднімають корм на висоту до 6 м [20, 22, 26, 27].



1 – ємність; 2 – кожух шнека; 3 – вивантажувальне вікно; 4 – гвинт

Рисунок 2.5 – Принципова схема шнекової транспортера

Продуктивність гвинтових транспортерів визначаємо за формулою

$$Q = \frac{3600 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot v_n \cdot \psi \cdot \rho}{4}, \quad (2.3)$$

де  $Q$  – продуктивність шнекового транспортного механізму;

$D$  – зовнішній діаметр шнека, м;

$d$  – діаметр вала шнека;

$v_n$  – швидкість поздовжнього переміщення гною;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення кожуха шнека, для вертикальних транспортерів

$\psi = 0,5 \dots 0,8$ , приймаємо  $\psi = 0,7$ ;

$\rho$  – об'ємна вага гноєсуміші,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

При дворазовому очищенню свиноферми від гною одноразове об'ємне навантаження на механізми становить:

– поздовжні (бокові) шнеки ферми (див. рис. 2.2)

$$V_{ШБ} = \frac{V_{\Phi}}{2 \cdot n_B}, \quad (2.4)$$

де  $n_B$  – кількість бокових шнеків,  $n_B = 4$ .

Підставивши дані, одержимо

$$V_{ШБ} = \frac{5,5}{2 \cdot 4} = 0,688 \text{ м}^3.$$

– поперечний (центральний) шнеки ферми (див. рис. 2.2)

$$V_{ШЦ} = \frac{V_{\Phi}}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ м}^3. \quad (2.5)$$

– шнекові насоси ємностей санітарної обробки та формування органічної суміші

$$V_H = \frac{4 \cdot V_{\Phi}}{2} = \frac{4 \cdot 5,5}{2} = 11 \text{ м}^3. \quad (2.6)$$

## 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШНЕКОВИХ НАСОСІВ В СИСТЕМІ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

### 3.1 Технологічне опрацювання та оцінювання енергоспоживання циліндричного вертикального шнекового насоса

У процесі транспортування гною від виробничих ємностей формування гноєсуміші до гноєсховища (див. рис. 2.2) ключову функцію виконують шнекові насоси, які забезпечують стабільне переміщення гнойових мас. Розглянемо особливості роботи вертикального шнекового перемішувача гомогенізатора (рис. 3.1).

Вертикальні шнекові агрегати належать до високошвидкісних транспортуючих механізмів. Переміщення гнойової суміші в них здійснюється переважно за рахунок дії відцентрових сил, що притискають матеріал до внутрішньої поверхні кожуха та спрямовують потік у вертикальному напрямі. Досягнення необхідної продуктивності таких насосів можливе лише за умов, коли швидкість руху периферійної частини шнека становить не менше ніж 2,8 м/с. У практиці експлуатації рекомендований діапазон швидкостей знаходиться в межах 2,8...6 м/с [16, 26, 27, 30].

Визначимо продуктивність вертикального шнекового насосу, т/год

$$Q = \frac{3600 \cdot \pi (D^2 - d^2) \cdot v_n \cdot \psi \cdot \rho}{4}, \quad (3.1)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнекової спіралі становить,  $D = 0,2$  м;

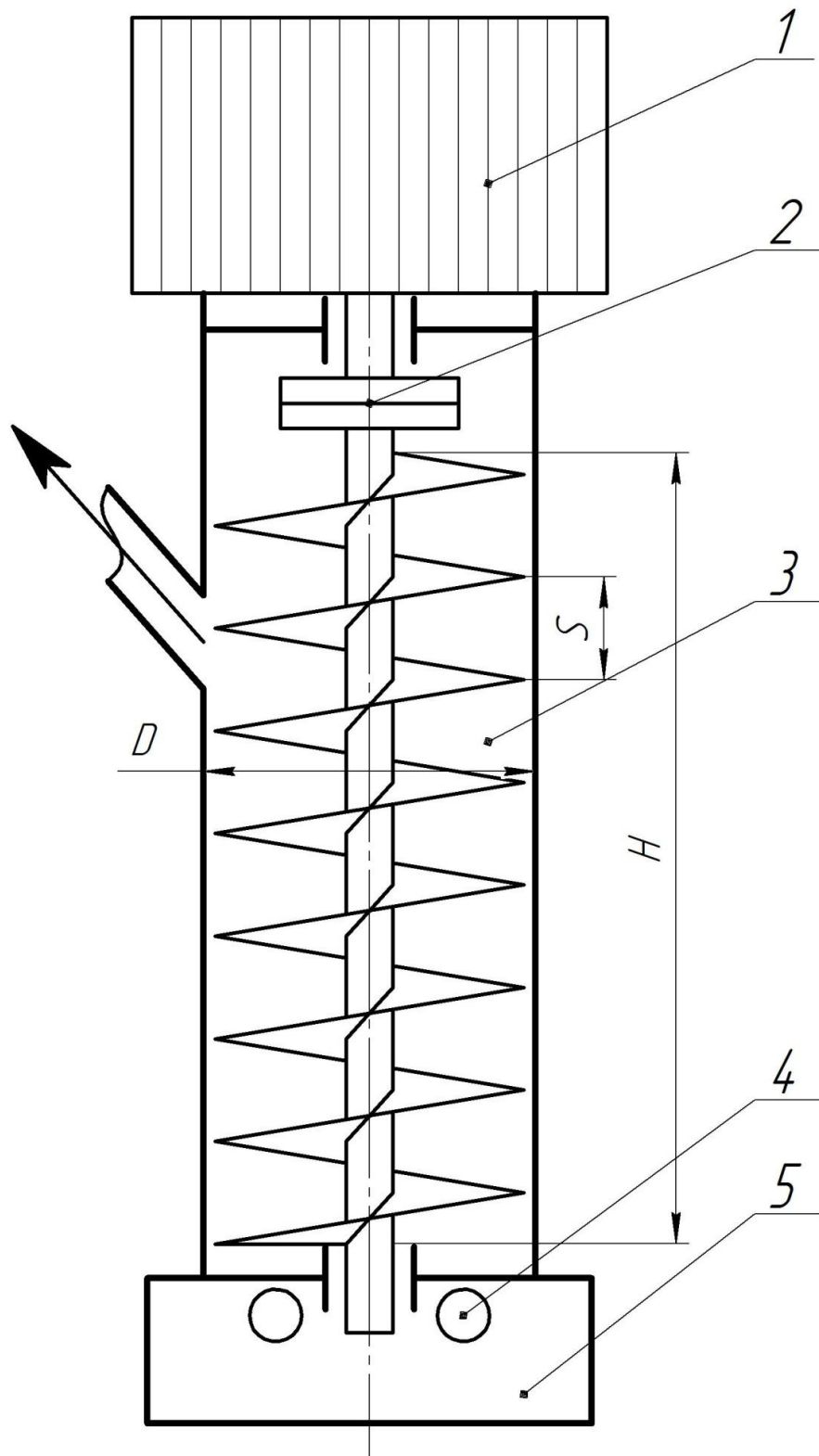
$d$  – діаметр приводного вала шнека дорівнює,  $d = 0,08$  м;

$v_n$  – швидкість вертикального транспортування матеріалу;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення простору між кожухом і шнеком,

для вертикальних конструкцій приймається  $\psi = 0,7$ ;

$\rho$  – об'ємна маса переміщуваного середовища  $\rho = 1,00$  т/м<sup>3</sup>.



1 – електричний привід; 2 – з’єднувальна муфта; 3 – гвинтова (шнекова) робоча частина; 4 – приймальні отвори для надходження гнойової суміші; 5 – опорний вузол; 6 – напірний патрубок для відведення перекачаного гною, 7 – корпус гомогенізатора

Рисунок 3.1 – Схематичне представлення конструкції вертикального шнекового насоса

Крок гвинтової лінії визначають за залежністю [1, 4, 8]

$$S = (0,75 \dots 1,25) \cdot D = (0,75 \dots 1,25) \cdot 0,2 = 0,15 \dots 0,25 \text{ м}, \quad (3.2)$$

Приймаємо значення кроку шнека  $S = 0,15$  м.

Кут піднімання гвинтової лінії по зовнішній поверхні шнека становить

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi \cdot D} = \frac{0,15}{\pi \cdot 0,2} = 0,239. \quad (3.3)$$

Отже

$$\alpha = \operatorname{arctg}(0,239) = 13,4^\circ.$$

Мінімально допустиму частоту обертання приводного вала вертикального шнекового насоса, об/хв., визначають за залежністю

$$n_{\min} = 13,5 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\alpha_0 - \varphi_2)}{d \cdot \sin \varphi_2}}, \quad (3.4)$$

де  $\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя гнойової суміші відносно робочої поверхні гвинтової спіралі шнека;

$\alpha_0$  – кут нахилу гвинтової лінії відповідно до внутрішнього діаметра шнекової спіралі.

Для гнойової суміші з вологістю до 96 % коефіцієнт тертя приймаємо  $f_2 = 0,4$ , тоді  $\varphi_2 = \operatorname{arctg}(0,4) = 21,8^\circ$ ;

Підставивши дані, одержимо

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S}{\pi d} = \frac{0,15}{\pi \cdot 0,06} = 0,796,$$

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg}(0,796) = 38,5^\circ.$$

$$n_{\min} = 13,5 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot \sin(38,5^\circ - 21,8^\circ)}{0,08 \cdot \sin 21,8^\circ}} = 158 \text{ об/хв.}$$

Відповідно до рекомендацій розраховане мінімальне значення частоти обертання доцільно підвищити. Приймаємо  $n_{\min.np} = 300$  об/хв., тоді

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\min.np}}{30} = \frac{\pi \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ с}^{-1}. \quad (3.5)$$

Швидкість транспортування матеріалу у вертикальному напрямі

$$v_n = n_{\min.np} \cdot S = 300 \cdot 0,15 = 45 \text{ м/хв.} = 0,75 \text{ м/с.} \quad (3.6)$$

Після внесення встановлених параметрів у формулу (3.1) отримано розрахункове значення продуктивності шнекового насоса

$$Q = \frac{3600 \cdot \pi (0,2^2 - 0,08^2) \cdot 0,75 \cdot 0,7 \cdot 1,01}{4} = 50 \text{ т/год.}$$

При роботі насоса один раз на добу, час його роботи становитиме

$$T_H = \frac{2 \cdot v_n}{Q} = \frac{2 \cdot 11}{50} = 0,44 \text{ год} = 26,4 \text{ хв.}$$

Потужність високошвидкісного шнекового насоса, необхідна для переміщення гнойової суміші, розраховується згідно з формулою

$$N = N_1 + N_2, \quad (3.7)$$

де  $N_1$  – потужність, що витрачається на компенсацію сил тертя гнойової маси, які виникають у зоні контакту між спіраллю шнека та внутрішньою поверхнею кожуха;

$N_2$  – потужність, що необхідна для вертикального переміщення гнойової суміші та подолання тертя, яке формується на робочій поверхні гвинтової спіралі.

Потужність, кВт, що витрачається на компенсацію сил тертя гнойової маси визначають за формулою

$$N_1 = \frac{F_g \cdot f_2 \cdot v_a}{102}, \quad (3.8)$$

де  $F_g$  – центробіжна дія (центробіжна сила), кг;

$v_a$  – повна (результуюча) швидкість переміщуваного матеріалу.

Центробіжну силу визначають за формулою

$$F_g = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot H \cdot \omega_g^2 \cdot (D^3 - d^3) \cdot \psi}{12 \cdot g}, \quad (3.9)$$

де  $\gamma$  – питома вага гнойової суміші, 1010 кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – висота, на яку здійснюється піднімання матеріалу,  $H = 1$  м.

$\omega_g$  – кутова швидкість обертального руху гнойової суміші.

$$\omega_g = 2 \cdot v_n \frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{D}; \quad (3.10)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \left( \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2} \right)^2 + \frac{g \cdot D \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2 \cdot f_2 \cdot v_n^2}}. \quad (3.11)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \left( \frac{\operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{\operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2} \right)^2 + \frac{9,81 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2 \cdot 0,4_2 \cdot 0,75^2}} = 2,544,$$

$$\varepsilon = \operatorname{arctg}(2,544^\circ) = 68,5^\circ.$$

Повну швидкість переміщуваного матеріалу визначають за формулою

$$v_a = \frac{v_n}{\cos \varepsilon} = \frac{0,75}{\cos 68,5^\circ} = 2,05 \text{ м/с.}$$

$$\omega_g = 2 \cdot 0,75 \cdot \frac{2,544}{0,2} = 19,08 \text{ с}^{-1};$$

$$F_g = \frac{\pi \cdot 1010 \cdot 1 \cdot 19,08^2 \cdot (0,2^3 - 0,06^3) \cdot 0,8}{12 \cdot 9,81} = 28,0 \text{ кг};$$

$$N_1 = \frac{28,0 \cdot 0,4 \cdot 2,05}{102} = 0,225 \text{ кВт.}$$

Потужність, що необхідна для вертикального переміщення гнойової суміші та подолання тертя, знаходять

$$N_2 = \frac{F'_0 \cdot R_{\text{сер}} \cdot (\omega - \omega_g) + F''_0 \cdot R \cdot (\omega - \omega_g)}{102}, \quad (3.12)$$

$$F'_0 = \frac{Q \cdot H \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi_2)}{3,6 \cdot V_n} = \frac{62300 \cdot 1 \cdot \text{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{3,6 \cdot 0,75} = 40380 \text{ кг.} \quad (3.13)$$

$$F''_0 = F_g \cdot f_2 \cdot \cos \varepsilon \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi_2) = 28 \cdot 0,4 \cdot \cos 68,5^\circ \cdot \text{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ) = 7,20 \text{ кг} \quad (3.14)$$

Підставивши дані, одержимо

$$N_2 = \frac{403,8 \cdot 0,07 \cdot (31,4 - 19,08) + 72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 \cdot (31,4 - 19,08)}{102} = 3,71 \text{ кВт.}$$

Потужність, що передається на приводний вал вертикального шнекового механізму

$$N_0 = \frac{(N_1 + N_2) \cdot K_0}{\eta}, \quad (3.15)$$

де  $K_0$  – коефіцієнт, який враховує додаткові енерговитрати, пов'язані з

частковим подрібненням гнойової маси  $K_0 = 1,15$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії опор підшипників кочення.  $\eta = 0,99$ .

$$N_0 = \frac{(0,225 + 3,71) \cdot 1,15}{0,99} = 4,32 \text{ кВт.}$$

### 3.2 Підбір і техніко-технологічне обґрунтування конструктивних параметрів модернізованого вертикального шнекового насоса

Проаналізувавши якість підготовки гноєсуміші в ємностях, санітарної обробки та формування готової продукції дійшли до висновку, що необхідно продовжити час її формування до двох діб, не змінюючи часу її переміщення на майданчик компостування. Таким чином, продуктивність шнекового насоса необхідно довести до  $Q_M = 100$  т/год. Передбачається, що такого результату можна досягти шляхом удосконалення геометрії та конструктивного виконання шнекового робочого органу (рис. 3.2) [8, 21].

Суть удосконалення полягає в тому, що до традиційного циліндричного шнека діаметром  $D$  приєднується конічна секція, яка включає два кроки шнекової спіралі із середнім діаметром  $D_c$ . Така модернізація дозволяє істотно збільшити подачу гнойової суміші насосом, а також підвищити тиск потоку на виході з напірного патрубка.

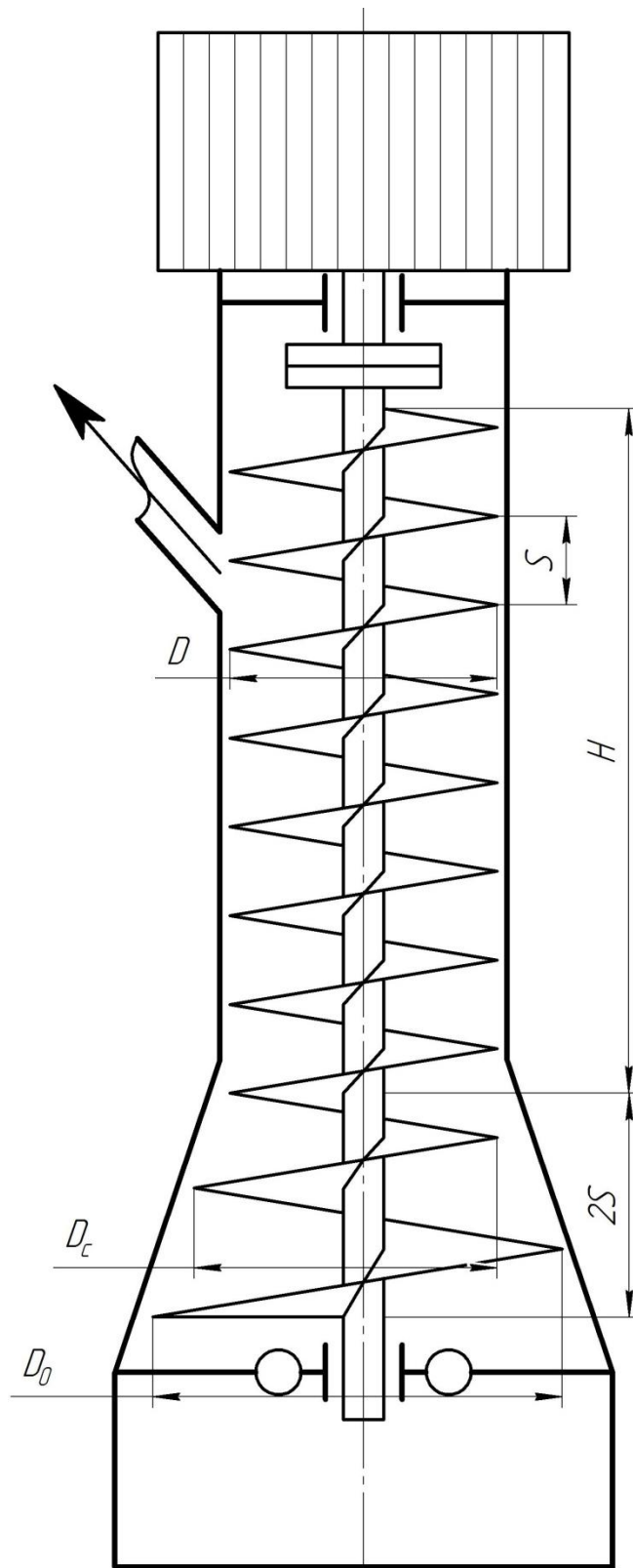
За умови незмінності інших конструктивних і кінематичних характеристик вертикального шнекового насоса необхідно визначити значення початкового діаметра шнека та required потужність приводу.

Використовуючи формулу (3.1), розраховують середній діаметр шнекового робочого органу, який забезпечить продуктивність гноєнасоса на рівні  $Q_M = 100$  т/год [26, 27]

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_M}{3600 \cdot \pi \cdot v_n \cdot \psi \cdot \rho} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3600 \cdot \pi \cdot 0,75 \cdot 0,7 \cdot 1,00} + 0,08^2} = 0,25 \text{ м.}$$

початковий (вихідний) діаметр шнекового робочого органу насоса

$$D_0 = 2 \cdot D_c - D = 2 \cdot 0,25 - 0,2 = 0,3 \text{ м.}$$



$D$  – діаметр шнека базового шнека;  $D_c$  – середній діаметр модернізованого шнекового робочого органу;  $D_0$  – початковий (найбільший) діаметр удосконаленого шнека

Рисунок 3.2 – Схематичне подання ключових конструктивних характеристик оновленого шнекового робочого органу насоса

Потужність, необхідна для компенсації сил тертя гнойової суміші в зоні контакту між шнеком і внутрішньою поверхнею кожуха насоса (ф-ли 3.8-3.9) [1, 8]

$$N_{1M} = \frac{F_{\epsilon.M} \cdot f_2 \cdot V_a}{102}, \quad (3.16)$$

де  $F_{\epsilon.M}$  – центробіжна дія (центробіжна сила), що виникає в гнойовій суміші

під час роботи додаткової шнекової секції,  $F_{\epsilon.M} = F_{\epsilon} + F_{\epsilon.d}$ .

На основі формули (3.11) отримано значення

$$\operatorname{tg} \epsilon_M = \left( \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2} \right)^2 + \frac{g \cdot D_c \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{2 \cdot f_2 \cdot v_n^2}}.$$

$$\operatorname{tg} \epsilon_M = \left( \frac{\operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{\operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2} \right)^2 + \frac{9,81 \cdot 0,25 \cdot \operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{2 \cdot 0,4_2 \cdot 0,75_n^2}} = 2,82,$$

$$\epsilon_M = \operatorname{arctg}(2,82^\circ) = 70,5^\circ.$$

Використавши залежність (3.10), одержимо значення

$$\omega_{\epsilon.M} = 2 \cdot v_n \frac{\operatorname{tg} \epsilon_M}{D_c};$$

$$\omega_{\epsilon.M} = 2 \cdot 0,75 \cdot \frac{2,82}{0,25} = 16,92 \text{ с}^{-1};$$

$$v_{a.M} = \frac{v_n}{\cos \epsilon_M} = \frac{0,75}{\cos 70,5^\circ} = 2,25 \text{ м/с}.$$

$$F_{\epsilon.d} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot 2S \cdot \omega_{\epsilon.M}^2 \cdot (D_c^3 - d^3) \cdot \psi}{12 \cdot g} =$$

$$= \frac{\pi \cdot 1010 \cdot 2 \cdot 0,15 \cdot 16,92^2 \cdot (0,25^3 - 0,06^3) \cdot 0,8}{12 \cdot 9,81} = 1,68 \text{ кг}.$$

Тоді

$$F_{\epsilon.M} = 28,0 + 1,68 = 29,7 \text{ кг};$$

$$N_{1.M} = \frac{29,7 \cdot 0,4 \cdot 2,05}{102} = 0,24 \text{ кВт.}$$

Потужність, необхідна для вертикального переміщення гнойової суміші та подолання тертя, що виникає у зоні контакту між матеріалом і поверхнею шнекової спіралі (формули 3.12–3.14) [1, 4, 16]

$$N_{2.M} = \frac{F'_{0.M} \cdot R_{cep} \cdot (\omega - \omega_{\epsilon.M}) + F''_{0.M} \cdot R \cdot (\omega - \omega_{\epsilon.M})}{102}, \quad (3.17)$$

$$F'_{0.M} = \frac{Q_M \cdot (H + 2S) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{3,6 \cdot V_n} =$$

$$\frac{100000 \cdot (1 + 0,15 \cdot 2) \cdot \operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ)}{3,6 \cdot 0,75} = 84510 \text{ кг.} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} F''_{0.M} &= F_{\epsilon.M} \cdot f_2 \cdot \cos \epsilon_M \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2) = \\ &= 29,7 \cdot 0,4 \cdot \cos 70,5^\circ \cdot \operatorname{tg}(38,5^\circ + 21,8^\circ) = 6,95 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Підставивши дані, одержимо

$$N_{2.M} = \frac{845 \cdot 0,07 \cdot (31,4 - 16,92) + 69,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 \cdot (31,4 - 16,92)}{102} = 8,51 \text{ кВт.}$$

Потужність, що передається на приводний вал вертикального шнекового агрегату

$$N_{0.M} = \frac{(N_{1.M} + N_{2.M}) \cdot K_0}{\eta}, \quad (3.20)$$

$$N_{0.M} = \frac{(0,24 + 8,51) \cdot 1,15}{0,99} = 10,2 \text{ кВт.}$$

### 3.3 Визначення та інженерний розрахунок приводного вала шнекового механізму

Найбільше значення крутного моменту, що передається на вал шнекового робочого органу [1, 4, 8]

$$M_{0.max} = \frac{N_{0.M}}{\omega} = \frac{10,2 \cdot 10^3}{31,4} = 350 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.21)$$

Це значення крутного моменту вважається рівномірно розподіленим уздовж усієї довжини шнекового вала з інтенсивністю

$$m = \frac{M_{0.max}}{H + 2S} = \frac{350}{1 + 0,3} = 260 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}}. \quad (3.22)$$

На рисунку 3.3, а наведено розрахункову модель шнекового вала, тоді як на рисунку 3.3, б подано епюру розподілу крутних моментів.

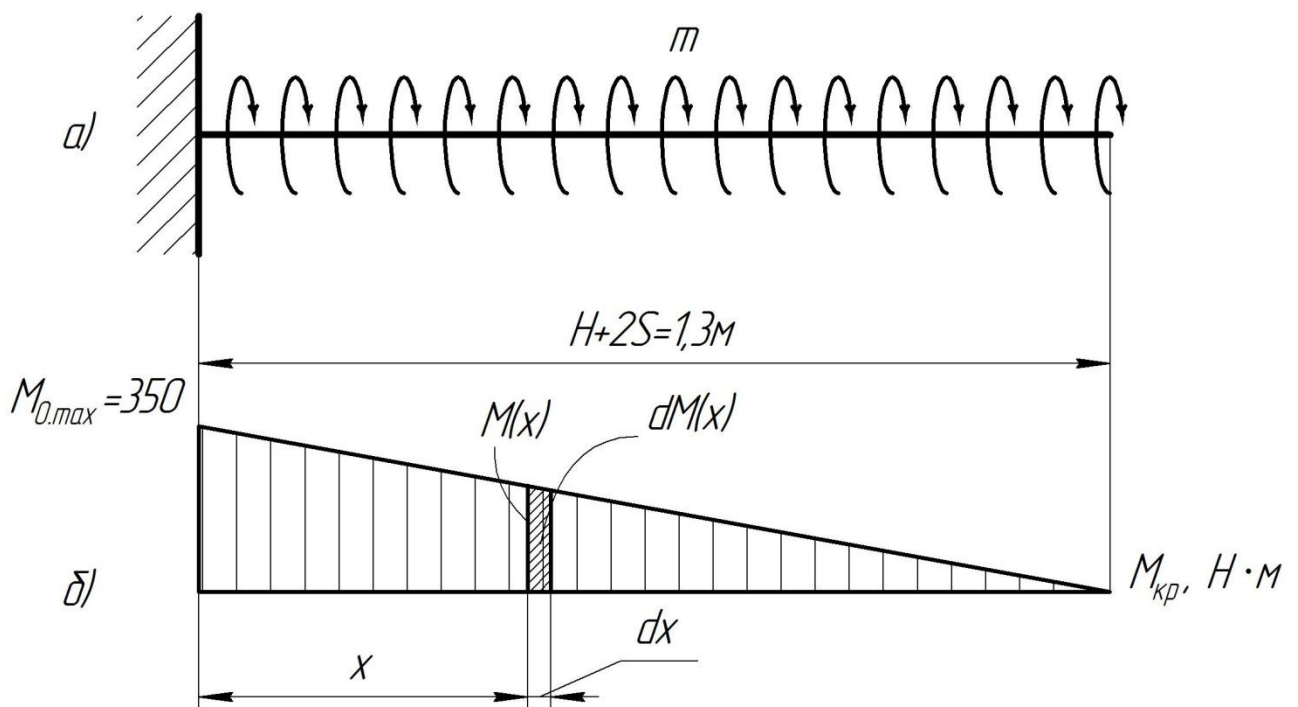
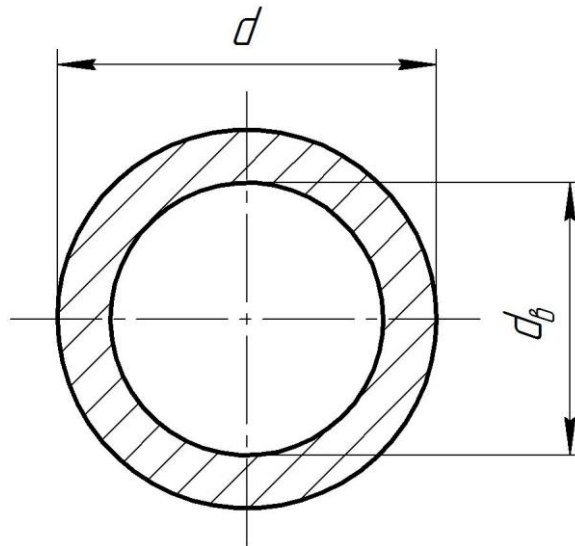


Рисунок 3.3 – Інженерно-технічне визначення параметрів та міцнісних характеристик шнекового вала

Конструктивно вал шнекового механізму приймається у вигляді порожнистої трубчастої деталі, зовнішній діаметр якої дорівнює  $d = 60$  мм (рис. 3.4)



$d$  – зовнішній діаметр трубчастої частини вала шнека;  $d_в$  – внутрішній діаметр порожнини вала шнека

Рисунок 3.4 – Геометричні характеристики поперечного перерізу шнекового вала

Виходячи з вимоги забезпечення міцності елемента при дії крутного навантаження

$$\tau_{\max} = \frac{M_{0.\max}}{W_p} \leq [\tau], \quad (3.23)$$

де  $W_p$  – полярний момент опору порожнистого (трубчастого) поперечного перерізу вала;

$[\tau]$  – гранично допустимі значення дотичних напружень для матеріалу, з якого виготовлено вал,  $[\tau] = 80$  МПа.

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} (1 - \alpha^4);$$

де  $\alpha$  – показник (коефіцієнтний параметр),  $\alpha = \frac{d_в}{d}$ .

На підставі формули (3.23) визначено

$$\alpha^4 \leq 1 - \frac{16 \cdot M_{0.\max}}{\pi \cdot d^3 \cdot [\tau]} = 1 - \frac{16 \cdot 350 \cdot 10^3}{\pi \cdot 60^3 \cdot 80} = 0,897,$$

$$\alpha \leq \sqrt[4]{0,897} = 0,97.$$

Отже, можна зробити висновок, що  $d_g = 0,97 \cdot 80 = 78$  мм, приймаємо  $d_g = 75$  мм.

Для оцінювання жорсткісних характеристик шнекового вала визначаємо найбільший кут закручування його вільного кінця (див. рис. 3.4, б).

$$d(\Delta\varphi) = \frac{dM(x)dx}{GI_p}, \quad (3.24)$$

де  $dM(x)$  – значення елементарного крутного моменту на ділянці  $x$ , розташованій на відстані від місця закріплення,

$$dM(x) = M_{0.\max} - \frac{M_{0.\max}}{H + 2 \cdot S} \cdot x,$$

$$d(\Delta\varphi) = \frac{\left( M_{0.\max} - \frac{M_{0.\max}}{H + 2 \cdot S} \cdot x \right) \cdot dx}{GI_p},$$

$$\Delta\varphi = \int_0^{H+2S} \frac{\left( M_{0.\max} - \frac{M_{0.\max}}{H + 2 \cdot S} \cdot x \right) \cdot dx}{GI_p} = \frac{M_{0.\max} \cdot (H + 2 \cdot S)}{2GI_p},$$

де  $I_p$  – полярний момент інерції трубчастого (порожнистого) поперечного перерізу вала.

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} (1 - \alpha^4) = \frac{\pi \cdot 80^4}{32} \cdot \left( 1 - \left( \frac{80}{75} \right)^4 \right) = 65,84 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

$$\Delta\varphi = \frac{350 \cdot 10^3 \cdot 1300}{2 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 65,84 \cdot 10^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,25 \text{ град.}$$

Питомий (відносний) кут закручування елемента

$$\theta = \frac{\Delta\varphi}{H + 2 \cdot S} = \frac{0,25}{1 + 2 \cdot 0,15} = 0,19 \text{ град/м} \leq [\theta] = 2 \text{ град/м.}$$

де  $[\theta]$  – гранично допустиме значення питомого кута закручування, що

застосовується у практиці загального машинобудування  $[\theta] = 2$  град/м.

Отже, вимога щодо жорсткісної міцності конструкції повністю виконується.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ. ОСНОВИ ОХОРОНИ РПАЦІ**

### **4.1 Організація робіт по техніці безпеки та охороні праці**

Керівництво і відповідальність за організацію роботи з охорони праці в галузі технічного обслуговування машинно-тракторного парку покладається в господарствах на головного інженера, на пунктах технічного обслуговування, та безпосередніх керівників цими підрозділами [2].

Особи, відповідальні за техніку безпеки в області організації технічного обслуговування зобов'язані:

- не допускати перевірку механізмів, машин і підйомно-транспортних механізмів, що знаходяться в русі;
- не допускати до роботи працівників, що не мають відповідних чи посвідчень інших документів;
- стежити за справним станом технічного обслуговування й устаткування, що знаходиться на стаціонарному пункті технічного обслуговування, а також за наявністю і справністю всіх передбачених правилами техніки безпеки запобіжних пристроїв, огорожень і індивідуальних засобів захисту, що забезпечують безпечні умови праці на відповідному ділянці роботи;
- визначати маршрути проходження пересувних засобів технічного обслуговування до місця роботи;
- вимагати дотримання робітниками і людьми, що працюють за угодою, правил і інструкцій з техніки безпеки, строго стежити за застосуванням безпечних методів праці і використанням усіх наявних запобіжних і захисних засобів.

Усі робітники, що приступають до роботи, повинні пройти вступний інструктаж на робочому місці, а потім через кожні шість місяців проводити періодичний інструктаж. Робітники, зайняті на особливо небезпечних роботах

(електро-газозварочні, ковальські, зарядка акумуляторів і ін.), періодичний інструктаж проходять через три місяці [2].

Враховуючи велику концентрацію погोलів'я в закритих приміщеннях, де проходить велике виділення аміаку і інших шкідливих для організму речовин, питанням безпечним методам праці приділяють особливу увагу, починаючи з санпропускника. На кожного робітника є два комплекти верхнього одягу і декілька комплектів натільної білизни, яка систематично знаходиться в пранні. Одяг кожного робітника зберігається в індивідуальних двох секційних шкафчиках для чистого і робочого одягу. По закінченні робочого дня всі працівники комплексу приймають душ і переодягаються в домашній одяг, на роботу всі доставляються автобусом згідно з графіком роботи, з метою збереження здоров'я і підтримки високої працездатності; на комплексі є хороша їдальня, а робітник, який хоче перебувати вдома в обідній час доставляються в найближчі села і зворотно автобусом. У столовій є вибір їжі по місцевих цінах. На всіх дільницях обладнані куточки відпочинку, по техніці безпеки, свіжі газети, шахи, шашки. Рівень загазованості приміщень систематично контролюється лабораторією і не рідше за один раз в квартал фахівцями області з видачею паспорта здоров'я. Результати аналізу вивішуються на видному місці, в цехах і на вході санпропускнику. Вся територія комплексу навколо будівель дуже засіяна травою і засаджена декоративними деревами, квітками, що дає додатковий кисень, а влітку – це місце відпочинку операторів.

Питаннями дотримання норм і правил охорони праці займаються безпосередньо начальники підрозділу, начальники цеху і дільниці. Контроль за їх роботою, ввідний інструктаж і проведення навчання з ІТР і службовцями веде інженер по техніці безпеки і протипожежній безпеці. Всі вимоги охорони праці, що вимагаються на комплексі знаходяться на якісно високому рівні. Відповідно до «Постанови по проведенні інструктажу по техніці безпеки і навчання робітників безпечним методам роботи на підприємствах, організаціях і підприємствах системи агропрома». Всі робітники і службовці комплексу проходять наступні види

інструктажів: ввідний на робочому місці і періодичний. Ввідний інструктаж проводить інженер по техніці безпеки або головні фахівці. Цей інструктаж на робочому місці проводять керівники виробничих дільниць при допуску осіб до роботи, при переводі їх з одного вигляду робіт на іншу, і при зміні технологічного процесу. Періодичний інструктаж проводять головні фахівці або під їх контролем керівники виробничих дільниць, при допуску осіб до роботи, при переводі їх з одного виду робіт на іншу, і при зміні технологічного процесу. Періодичний інструктаж проводиться через кожні три місяці. На комплексі також проводиться курсове навчання з охорони праці. Навчання проводять головні фахівці для ІТР господарства, головні фахівці господарства для бригадирів і працівників комплексу.

#### **4.2 Санітарно-гігієнічні вимоги по догляду за тваринами**

До роботи по обслуговуванню тварин допускаються люди не молодші за 16 років. При інструктування працівників необхідно, передусім, розказати про звички тварин, проінструктувати, де розміщуються неспокійні тварини, вивішуються написи з попередженням про обережність при обслуговуванні цих тварин. До обслуговування хворих тварин допускаються спеціально навчені працівники не молодші 17-ти років, які періодично (раз в квартал) проходять медичний огляд. Вхід в ізолятор стороннім особам заборонений. Обслуговуючому персоналу хворих тварини, крім спецодягу і взуття видається санітарний одяг і взуття, який щодня дезинфікується [2].

У побутовому приміщенні передбачена душова. Також в свинарнику є службові приміщення і споруди. У приміщенні кормоцеху, вентиляторна, амбулаторія і свої побутові приміщення. Для працівників ферми в блоці службових приміщень запроектована кімната для їди і відпочинку.

У приміщенні контори обладнана кімната для першої медичної

допомоги. У кімнаті знаходиться аптечка і обладнання для першої медичної допомоги. Необхідні індивідуальні кошти захисту наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Засоби індивідуального захисту

Професія і види робіт	Кількість чоловік	Найменування засобів захисту	Термін придатності, міс.	Потрібна кількість на рік
Ветлікар	1	халат білий	12	5
Зоотехнік	1	халат білий,	12	18
		халат х/б	3	18
Інженер-механік	1	взуття	6	2
Оператор по обслуговуванні ВРХ	2	халат х/б,	12	2
		халат з водостійкою пропиткою,	6	4
		фартух,	12	2
		чоботи гумові, куртка ватна,	24	2
		рукавиці	6	4
Робочі кормоцеху	2	комбінезон х/б,	12	2
		халат х/б	12	2
		рукавиці,	6	4
		черевики шкіряні	12	2
Трактористи	2	комбінезон х/б,	12	2
		рукавиці,	6	4
		куртка ватна	24	2

### 4.3 Розрахунок вентиляції та опалювання

Необхідний повітрообмін розраховують за змістом в повітрі вуглекислого газу. Необхідний повітрообмін визначаємо за формулою [2]

$$L = \frac{d \cdot m}{d_2 - d_1}, \quad (4.1)$$

де  $L$  – кількість  $CO_2$ , що виділяється тваринами,  $L=47$  л/г;

$m$  – кількість голів,  $m=500$  голів;

$d_1$  – вміст  $CO_2$  в зовнішньому повітрі,  $d_1=0,3$  л/м;

$d_2$  – допустимий вміст  $CO_2$  в приміщенні,  $d_2=2,5$  л/м.

Тобто

$$L = \frac{47 \cdot 500}{2.5 - 0.3} = 10682 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

З урахуванням регулювання приймаємо повітрообмін, рівний

$$Lp = (2 \dots 3) \cdot \varphi, \quad (4.2)$$

у числовому вигляді це

$$Lp = (2 \dots 3) \cdot 10682 = (21364 \dots 3204) \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

За даними розрахунками обчислюємо вентиляційні канали. Загальну площу вентиляційних каналів визначаємо за формулою

$$F = \frac{L \cdot b}{36000 \cdot V}, \quad (4.3)$$

де  $V$  – швидкість руху повітря в каналі.

Швидкість руху повітря в каналі визначаємо за формулою

$$V = 2,2 \sqrt{\frac{H(t_b - t_n)}{273}}, \quad (4.4)$$

де  $H$  – висота каналу,  $H=5\text{м}$ ;

$t_b$  – температура внутрішнього повітря,  $t_b = 28$ ;

$t_n$  – температура зовнішнього повітря.  $t_n = 14$ .

Підставивши дані, одержимо:

$$V = 2,2 \sqrt{\frac{5(28 - 15)}{273}} = 1,12 \text{ м/с};$$

$$F = \frac{21364}{36000 \cdot 1,12} = 5,3 \text{ м}^2.$$

Необхідну кількість вентиляційних каналів визначаємо за формулою

$$n = \frac{F}{f}, \quad (4.5)$$

де  $F$  – загальна площа перетину каналів,  $F=5,3\text{м}$ ;

$f$  – площа перетину одного каналу,  $f=0,9\text{м}$ .

Тобто

$$n = \frac{5,3}{0,9} = 5,9.$$

Приймаємо 6 каналів.

Кратність повітрообміну в тваринницькому приміщенні визначаємо за формулою

$$K = \frac{Lp}{V}, \quad (4.6)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $V=1546 \text{ м}^3$ .

У числовому вигляді це

$$K = \frac{21364}{1546} = 14.$$

Кількість тепла, необхідне для підтримки заданого теплового режиму, визначаємо за рівнянням теплового об'єму

$$Q_{om} = Q_v + Q_{opz} + Q_{sch} - Q_m, \quad (4.7)$$

де  $Q_v$  – кількість теплоти, витрачена при вентиляції;

$Q_{opz}$  – теплові втрати через огорожі;

$Q_{sch}$  – кількість теплоти витрачене через двері;

$Q_m$  – кількість теплоти, що виділяється тваринами.

Кількість теплоти, витраченої при вентиляції визначаємо за формулою

$$Q_v = V \cdot \rho_B (t_B - t_{II}) \cdot C, \quad (4.8)$$

де  $\rho_B$  – щільність повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;

$t_B - t_{II}$  – температура повітря в приміщенні і зовні, С;

$C$  – теплоємність повітря,  $C = 1$  кДж/С.

Тобто

$$Q_g = 21364 \cdot 0,24 \cdot (8 - (-10)) \cdot 1 = 92292,5 \text{ ккал.}$$

Теплові втрати через огорожі визначаємо за формулою

$$Q_{огр} = \sum K_1 \cdot F(t_g - t_n), \quad (4.9)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт тепловіддачі, рівний 0,68;

$F$  – поверхня обгороджування.

У числовому вигляді це

$$Q_{огр} = 0,68 \cdot 3864 \cdot (-8 - (-10)) = 47295 \text{ ккал.}$$

Кількість теплоти витраченої через двері визначаємо за формулою

$$Q_{сч} = 0,13 \cdot (Q_g + Q_{огр}), \quad (4.10)$$

тобто

$$Q_{сч} = 0,13 \cdot (92292,5 + 47295) = 18446,4 \text{ ккал.}$$

Кількість теплоти, що виділяється тваринами, визначаємо за формулою

$$Q_m = g \cdot m, \quad (4.11)$$

де  $g$  – кількість вільної теплоти, що виділяється однією твариною, ккал;

$m$  – число тварин в приміщенні.

Підставивши дані, одержимо:

$$Q_m = 970 \cdot 500 = 485000 \text{ ккал;}$$

$$Q_{от} = 92292,5 + 47295 + 18146,4 - 485000 = -327266,1 \text{ ккал}$$

З розрахунку ми бачимо надлишок тепла. Для його відведення необхідно збільшити об'єм повітря, що вентилюється за рахунок установки примусової вентиляції.

Для примусової вентиляції необхідний вентилятор, підбираємо його по величині  $\varphi$  і натиску.

#### **4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях**

Розробка заходів щодо підвищення і забезпечення стійкості роботи об'єктів тваринництва [2].

Стійкість роботи галузі тваринництва – це здатність його в надзвичайних ситуаціях випускати продукцію в об'ємі що планується, необхідний номенклатурі і відповідної якості, а у разі впливу на об'єкт вражаючих чинників в мінімально короткі терміни відновлювати своє виробництво.

Своєчасне проведення захисних заходів дозволить максимально знизити результати впливу вражаючих чинників мирного і військового часу на людей, сільськогосподарських тварин і створити сприятливі умови для швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Найвірогіднішими вражаючими чинниками на об'єкті можуть бути: надмірний тиск ударної хвилі будь-якого вибуху і швидкісний натиск повітря при урагані, пожежі в тваринницьких приміщеннях, радіоактивне, Хімічне, бактеріологічне зараження і затоплення місцевості. Результатом дії таких вражаючих чинників матимуть місце руйнування будівель, споруд і систем життєзабезпечення, пожежі на території і в приміщеннях тваринницьких комплексів, поразки людей і тварин, зараження продуктів харчування, води, пасовищ, кормів, масове захворювання людей і тварин.

Розробка основних напрямів підвищення стійкості роботи об'єктів тваринництва в таких умовах зводить до наступних заходів:

1. Підготовка до проведення заходів ЦО, направлених на підвищення стійкості роботи галузі тваринництва в надзвичайних ситуаціях. Це досягається

розробкою і складанням плану цивільної оборони об'єкту на мирний і військовий час. В плані передбачається організація і порядок виконання задач ЦО, сили і засоби, зміст і об'єкт робіт терміни їх виконання, порядок дій формувань ЦО з урахуванням конкретних умов і можливостей об'єкту.

2. Будівництво, ремонт, герметизація тваринницьких приміщень. Будівництво нових приміщень здійснюється в мирний час відповідно до плану розвитку об'єкту. Ремонт і зміцнення тваринницьких приміщень проводиться з метою захисту тварин від дії ударної хвилі, радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження в умовах тривалого змісту. Герметизація досягається змазкою стелі глиняним, цементним або вапняним розчином або засипкою шлаками або піском. Таким же розчином замазуються щілини в стінах, між рамами дверей, вікон і стінами. 2/3 всіх вікон можна закривати з обох сторін, наперед підготовленими щитами. Решта вікон закривається щитами, оббитими толем, поліетиленовою плівкою з внутрішньої сторони. Двері приміщень оббивають толем або плівкою. На раму дверей по периметру прибивають прокладку з гуми або повсті. З внутрішньої сторони дверей завішуються полотном або солом'яними матами. За наявності в приміщенні системи вентиляції в приточуванні вентиляційний канал ставиться спрощений піщаний або вугільний фільтр. Проходження повітря через фільтр повинне забезпечувати обмін повітря не менше 3-4 об'ємів за годину.

3. Створення запасів кормів і води. Запаси кормів і води створюються усередині приміщення на 5...7 діб, а на території ферми – захищений запас грубих кормів на 7...10 діб. Мінімальна добова норма води для поїння великої рогатої худоби 4...5 л, свиней 6...8 л, сіна великої рогатої худоби – 5...6 кг, дрібної рогатої худоби – 0,5...1 кг. Для поїння використовувати воду із захищених джерел – колодязь, свердловина. Виганяти худобу на випас рекомендується при рівній радіації на пасовищі: для м'ясної худоби – 0,5 р/год., молочного – 0,1 р/год., а з використанням молока дітям – 0,001 р/год.

4. Проведення ветеринарно-санітарних заходів. Ветеринарно-санітарні заходи включають:

- створення необхідних зоологічних умов змісту тварин;
- ветеринарну обробку уражених тварин;
- годування і використання тварин;
- проведення дезинфекції, дезінсекції і дератизації;
- щеплення проти інфекційних хвороб;
- проведення ветеринарно-санітарного контролю.

5. Розробка заходів евакуації тварин із зон руйнувань, пожеж, хімічного зараження і затоплення.

6. Організація забезпечення основних виробничих процесів в тваринництві електроенергією від автономних джерел електропостачання при відключенні від центральної електричної системи. Як автономні джерела енергії використовувати пересувні дизель-електростанції, а також електрогенератори, насоси для подачі води, дизельні установки і інші, з приводом від тракторів і автомобілів.

7. Організація утилізації і забою уражених тварин, тимчасового зберігання м'ясопродукції при порушенні господарських зв'язків із заготовчими організаціями.

8. Розробка і проведення протипожежних заходів, основними з яких є:

- підготовка природних водоймищ, поглиблення або створення запруд, майданчиків для пожежних машин;
- очищення території від горючих матеріалів;
- очищення кришок колодязів пожежних гідрантів від снігу і сміття;
- підтримка пожежного устаткування і первинних засобів гасіння (вогнегасники, бочки з водою, ящики з піском) в справному стані;
- навчання персоналу правилам і нормам пожежної безпеки при експлуатації електроприладів, освітлення, опалювання і використання газу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра проведено аналіз сучасних технологій утилізації гною на свинофермах та обґрунтовано напрями підвищення ефективності роботи систем транспортування і переробки гнойових мас.

Визначено об'ємно-масові показники утворення гною на свинокомплексі та обґрунтовано технологічну схему його руху від тваринницьких приміщень до майданчика компостування. Для механізації процесів транспортування та переробки гнойової суміші запропоновано використання шнекових транспортних механізмів, насосів і сепараторів.

Виконано інженерні розрахунки вертикального шнекового насоса, визначено його основні конструктивні та енергетичні параметри. Запропоновано модернізацію шнекового робочого органу, що дозволяє підвищити продуктивність насоса та покращити ефективність переміщення гнойової суміші.

Проведено розрахунок приводного вала на міцність і жорсткість, результати якого підтвердили надійність конструкції. Розглянуто питання охорони праці, вентиляції приміщень та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення ефективності утилізації гною, зменшення енерговитрат і покращення екологічних показників роботи свинокомплексу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Р. Б., Хомик Н. І., Жаровський О. С., Довбуш Т. А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навч. посіб. до лабораторних робіт. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
2. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
3. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Цьонь Г. Б. Зниження металоємності гнучких транспортуючих механізмів // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 14–15 травня 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 20–21.
4. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Опір матеріалів : навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 220 с.
5. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь Г. Б. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів // Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 23–24 вересня 2021 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. С. 67–68.
6. Олексюк В. П., Бабій А. В., Сташків М. Я., Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б., Мартинюк В. В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.
7. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Блозва І. Й., Довбуш А. Д. Вступ до фаху : навч. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 348 с.

8. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь О. П. Деталі машин : курс лекцій для студентів заочної форми навчання. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 160 с.
9. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. (курс лекцій). Ч. 1. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.
10. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист : навч. посіб. / за заг. ред. Н. І. Хомик. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
11. Хомик Н. І., Ткаченко І. Г., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до курсового проєктування для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 100 с.
12. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Сташків М. Я., Бабій А. В., Довбуш Т. А. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.
13. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. Основи агрономії : навч. посіб. (курс лекцій). Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 с.
14. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Антончак Н. А. Основи агрономії : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 320 с.
15. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А. Навчальна практика : метод. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 140 с.
16. Babii A., Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Tson H., Oleksyuk V. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>

17. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2022. Vol. 108, No. 4. P. 5–15.
18. Dovbush T., Dovbush A., Khomyk N., Tson H. Substantiation of flexible screw conveyor metal consumption under productivity maintenance conditions. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 33–42.
19. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А. Ознайомча практика : метод. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 80 с.
20. Гевко І. Б., Довбуш Т. А., Цьонь О. П., Довбуш А. Д., Станько А. І. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх дослідження. *Сільськогосподарські машини*. 2021. Вип. 47. С. 63–72.
21. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.
22. Nevko R., Lyashuk O., Dzyura V., Dovbush T., Trokhaniak O., Liashko A. Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2021. P. 479–487.
23. Rybak T., Popovych P., Khomyk N., Dovbush T., Tson H. Simulation calculations on quasistatic strength of structural elements of heavily loaded agricultural machines. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka*. 2013. P. 321–326.
24. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б. Машини та обладнання для тваринництва : навч.-метод. посіб. до виконання курсового проєкту. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2017. 84 с.
25. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters. *Scientific Journal of TNTU*. 2024. Vol. 115, No. 3. P. 112–121.

26. Гевко Р. Б., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Залуцький С. З., Станько А. І., Довбуш Т. А. Гвинтові конвеєри з еластичними поверхнями. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. 239 с.
27. Дячун А. Є., Довбуш Т. А., Брикса А. О., Никитюк А. Г. Шнеки для змішування із спеціальними елементами // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 28–29 травня 2025 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 128–129.
28. Tson H., Dovbush T., Martyniuk V., Khomyk N., Stashkiv M., Dovbush A. Development of highly productive technological schemes for the use of agrodrones for plant protection. Scientific Journal of TNTU. 2025. Vol. 118, No. 2. P. 66–78.
29. Хомик Н. І., Довбуш Т. А. Обґрунтування силових факторів навантаженості пруткових транспортерів // Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Тернопіль, 29–30 вересня 2022 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 140–141.
30. Nevko I., Liashuk O., Tson O., Dovbush T., Zalutskyi S., Stanko A. Installation for the investigation of screw working bodies with elastic surfaces and the results of their experimental tests. Scientific Journal of TNTU. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 98–109.
31. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Дунець Б. Розрахунок ресурсу роботи конструктивної системи розкидача добрив // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Тернопіль : ТНТУ, 2018. С. 102–103.
32. Tson H., Baranovskyi V., Lyashuk O., Dovbush T. Experimental researches of parameters of the technological process of the improved beet tops purifier. Scientific Journal of TNTU. 2018. Vol. 92, No. 4. P. 60–67. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2018.04.060](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.060).

33. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Довбуш Т. А., Хорошун Р. В., Гевко І. Б. Проектування трансформаційних причепів для оптимізації площ зберігання в автотранспортних підприємствах. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 12(43), ч. 2. С. 236–243.
34. Олексюк А. В., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. Пошук оптимальних конструкцій сепаруючих пристроїв картоплезбиральних машин // Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XIV Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 110–112.
35. Rybak T., Stashkiv M., Tson O. Analytical and applied model of the process of the cut vegetable components feeding to the screw conveyor of the top gathering module. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018.No 2 (90). P. 105-114.

## **ДОДАТКИ**



№	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.									
			<u>Документація</u>											
			Складальне креслення	1										
1		КРБ 22-175.06.05 СК	Шнек лопатевий	1										
			<u>Складальні одиниці</u>											
		КРБ 22-175.06.05.04 СК	Корпус РШ 110 ГОСТ 13218.9-80	1										
			<u>Деталі</u>											
2	А4	КРБ 22-175.06.05.02	Втулка опорна	1										
3	А4	КРБ 22-175.06.05.03	Фланец наскрізний	1										
1	А3	КРБ 22-175.06.05.01	Вал	1										
8	А3	КРБ 22-175.06.05.08	Вал кінцевий	1										
10	А4	КРБ 22-175.06.05.10	Фланец	1										
6	А4	КРБ 22-175.06.05.06	Лопать	1										
			<u>Стандартні вироби</u>											
5			Підшипник 2007112А ГОСТ 27365-87	1										
7			Труба 70 × 3,5 × 1250кр ГОСТ 8734-75 / Б20ГОСТ 8733-74	1										
9			Підшипник 2212 ГОСТ 8328-75	2										
11			Гайка М54 × 1,5 -6Н.05.05 ГОСТ 11871-88	1										
12			Шайба Н56.01.05. ГОСТ 11872-89	1										
13			Болт М8 -6g × 60.58 ГОСТ 7805-70	1										
			КРБ 22-175.06.05 СК											
<u>Нам.</u>	<u>Лист</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підпис</u>	<u>Дата</u>										
Розроб		Зварич О.І.			<table border="1"> <tr> <td><u>Літер.</u></td> <td><u>Лист</u></td> <td><u>Листів</u></td> </tr> <tr> <td>У Д</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">ФМТ, МГ-41</td> </tr> </table>	<u>Літер.</u>	<u>Лист</u>	<u>Листів</u>	У Д	2	2	ФМТ, МГ-41		
<u>Літер.</u>	<u>Лист</u>	<u>Листів</u>												
У Д	2	2												
ФМТ, МГ-41														
Перевірив		Цьомь Г.Б.												
Консульт		Цьомь Г.Б.												
Н. Кант		Стайко												
Затв.		Бабій АВ												
			Секція лопатевого шнека. Складальне креслення											