

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Проектування кормоцеху для відгодівлі свиней з обґрунтуванням
конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача ІКМ-5.0»

Виконав: студент _____ 4 _____ курсу групи МГ-41
спеціальності _____ 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Вільчинський Б.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Довбуш Т.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Сташків М.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Бабій А.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього
ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Вільчинському Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проектування кормоцеху для відгодівлі свиней з обґрунтуванням
конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача кормів ІКМ-5.0»

Керівник роботи

Довбуш Тарас Анатолійович, к.т.н. доц.

(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 11 червня 2026 року

3. Вихідні дані до технологічні параметри кормоцеху для відгодівлі свиней,
роботи розрахункове поголів'я та його добова потреба в кормах.

Технічна характеристика подрібнювача кормів ІКМ-5.0, нормативні показники
продуктивності та енерговитрат обладнання.

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1. Аналіз сучасних кормоцехів та обладнання для підготовки
кормів. 2. Обґрунтування технологічних параметрів кормової бази та обладнання кормоцеху. 3.
Розрахунки та обґрунтування параметрів обладнання кормоцеху. 4. Безпека життєдіяльності,
основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точних зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1-2. Мета, предмет, об'єкт, завдання. 3-4 Технологічна схема приготування кормів.

5. Схема молоткової машини для подрібнення фуражного зерна. 6. Схема технологічного

процесу машини миття та подрібнення коренебульб. 7. Схема технологічного процесу
живильника стеблових культур 8. Схема роботи соломо-силосорізки. 9-10 Деталювання. 11.
Висновки.

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

28 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних кормоцехів та обладнання для підготовки кормів	до 20.02.2026	
2	Обґрунтування технологічних параметрів кормової бази та обладнання кормоцеху	до 31.03.2026	
3	Розрахунки та обґрунтування параметрів обладнання кормоцеху	до 30.04.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 12.05.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 20.05.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 05.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Вільчинський Б.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Довбуш Т.А.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Вільчинський Богдан Олександрович

Тема роботи – «Проектування кормоцеху для відгодівлі свиней з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача кормів ІКМ-5.0». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Довбуш Тарас Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (24 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 54 сторінки на яких є 10 рисунків.

Актуальність теми роботи. На сучасному етапі розвитку галузі тваринництва одним із ключових напрямів підвищення ефективності свинарського виробництва є вдосконалення технологічних процесів підготовки кормів і підвищення рівня механізації кормовиробництва. Оскільки витрати на корми займають значну частку у структурі собівартості продукції свинарства, якість підготовки кормових сумішей істотно впливає на продуктивність тварин, інтенсивність приросту їх живої маси та економічну ефективність господарства. Технологічна обробка кормової сировини, зокрема її подрібнення, сприяє підвищенню доступності поживних речовин, покращенню їх засвоюваності організмом тварин та ефективнішому використанню кормових ресурсів.

Серед технологічних операцій кормоприготування процес подрібнення належить до найбільш енергоємних, оскільки потребує значних витрат енергетичних ресурсів. Тому підвищення продуктивності подрібнювального обладнання, зменшення питомих енерговитрат та забезпечення необхідного

ступеня подрібнення кормових компонентів є актуальними завданнями сучасного агропромислового виробництва.

Для підприємств свинарського напрямку важливе значення має впровадження кормоцехів, що забезпечують безперервний процес приготування повноцінних кормових сумішей із необхідними фізико-механічними та поживними властивостями. Ефективне проєктування кормоцехів передбачає обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів основного обладнання, зокрема подрібнювачів, від функціонування яких залежить ефективність усієї технологічної системи. Удосконалення конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача ІКМ-5.0 дозволить підвищити якість подрібнення кормової маси, збільшити продуктивність обладнання та знизити енергетичні витрати процесу приготування кормів.

Мета роботи: проєктування кормоцеху для відгодівлі свиней та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача ІКМ-5.0 з метою підвищення ефективності підготовки кормів і зниження енергетичних витрат.

Завдання:

1. Проаналізувати технологічні особливості приготування кормів для відгодівлі свиней у кормоцехах.
2. Розробити технологічну схему кормоцеху з використанням подрібнювача ІКМ-5.0.
3. Обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри подрібнювача ІКМ-5.0 для забезпечення якісного подрібнення кормової сировини.
4. Визначити оптимальні режими роботи подрібнювача з метою підвищення ефективності підготовки кормів.

Об'єкт дослідження: процес підготовки та подрібнення кормів у кормоцехах для відгодівлі свиней.

Предмет дослідження: конструктивно-технологічні параметри подрібнювача ІКМ-5.0 та їх вплив на ефективність процесу подрібнення кормів.

Методи дослідження: аналіз та узагальнення науково-технічної літератури, аналітичні методи для обґрунтування технологічної схеми кормоцеху; інженерні розрахунки для визначення конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача ІКМ-5.0; розрахунково-графічні методи при проектуванні основного технологічного обладнання; порівняльний аналіз існуючих технічних рішень у сфері подрібнення кормів.

Практичне значення отриманих результатів: полягає в можливості використання розроблених технологічних рішень при проектуванні та модернізації кормоцехів для відгодівлі свиней. Обґрунтовані конструктивно-технологічні параметри подрібнювача ІКМ-5.0 можуть бути використані для підвищення якості подрібнення кормів, зниження енерговитрат та підвищення продуктивності процесу підготовки кормів.

Ключові слова: кормоцех, відгодівля свиней, подрібнювач ІКМ-5.0, конструктивно-технологічні параметри, підготовка кормів, ефективність виробництва, енергозбереження.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОРМОЦЕХІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ КОРМІВ	10
1.1. Аналіз кормоцехів тваринницьких ферм	10
1.2. Огляд типових машин для забезпечення повноцінної роботи кормоцеху... 15	15
1.2.1 Машини для подрібнення фуражного зерна	15
1.2.2. Машини для підготовки коренебульб	17
1.2.3. Машини для розшарування та подачі стеблових культур	19
1.2.4. Машини для подрібнення стеблових кормів.....	21
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОРМОВОЇ БАЗИ ТА ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ	23
2.1. Аналітичне обґрунтування структури поголів'я свиней.....	23
2.2. Визначення та техніко-технологічне обґрунтування якісних і кількісних параметрів кормової бази	24
2.3. Технологічні процеси підготовки кормів і обґрунтування вибору обладнання для кормоцеху.....	26
3 РОЗРАХУНКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ	33
3.1 Кінематичні розрахунки шнекового транспортера	33
3.2. Розрахунок необхідної потужності електродвигуна, що приводить у дію шнековий механізм	38
3.3. Інженерний розрахунок горизонтальної дискової машини для різання коренебульбоплодів	40
3.4 Розрахунок енергоспоживання горизонтально-дискової коренебульборізк	45
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1 Загальні положення з охорони праці на кормоцехах свинарських ферм	47
4.2 Заходи з безпеки праці під час експлуатації подрібнювача ІКМ-5.0	48
4.3 Санітарно-гігієнічні умови праці.....	49
4.4 Пожежна безпека у кормоцеху	50
ВИСНОВКИ	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52
ДОДАТКИ	55

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України характеризується зростанням вимог до ефективності, стабільності та енергоощадності виробництва продукції тваринництва. В умовах підвищення вартості енергоресурсів і кормових компонентів особливої актуальності набуває впровадження ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на зниження собівартості продукції та підвищення продуктивності тварин. У цьому контексті свинарство є однією з провідних галузей тваринництва, яка забезпечує населення високоякісною продукцією та відіграє значну роль у формуванні аграрного виробництва.

Важливим чинником ефективності свинарських підприємств є раціональна організація годівлі тварин, оскільки корми становлять основну частину витрат у структурі виробництва. Це визначає необхідність не лише забезпечення достатньої кормової бази, а й підвищення технологічної якості кормів шляхом удосконалення процесів їх підготовки. До таких процесів належать очищення, подрібнення, змішування та дозування кормових компонентів, які формують однорідність кормової суміші та впливають на її поживну цінність і засвоюваність.

Серед операцій кормоприготування особливе значення має подрібнення зернової та іншої кормової сировини, яке належить до найбільш енергоємних етапів технологічного процесу. Якість виконання цієї операції визначає ступінь доступності поживних речовин, рівномірність структури корму та ефективність його використання у годівлі тварин. На цей процес впливають конструктивні особливості обладнання, режими його роботи та фізико-механічні властивості сировини, що в сукупності визначає продуктивність і енергоефективність технологічної лінії.

Сучасні умови виробництва потребують удосконалення конструктивно-технологічних параметрів подрібнювального обладнання з метою підвищення

його надійності, зменшення енерговитрат і забезпечення стабільної якості подрібненого продукту. Особливо актуальним є обґрунтування роботи серійного подрібнювача ІКМ-5.0, який широко використовується у складі кормоцехів свинарських господарств. Його параметрична оптимізація дозволяє підвищити ефективність процесу подрібнення та забезпечити узгоджену роботу технологічної лінії.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОРМОЦЕХІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ КОРМІВ

1.1. Аналіз кормоцехів тваринницьких ферм

Головним завданням будь-якої тваринницької ферми є ефективна відгодівля поголів'я, що проявляється у максимальному прирості живої маси, підвищенні надоїв молока та інших продуктивних показників. Досягнення цих результатів можливе за умови впровадження комплексної механізації виробничих процесів, спрямованих на забезпечення тварин повноцінними, збалансованими кормами. Провідна роль у реалізації цього завдання належить кормоцехам, які забезпечують підготовку кормів до згодовування [3].

Кормоцехи, як правило, розташовують на території тваринницької ферми в окремих будівлях, поблизу складів концентрованих кормів, сховищ коренебульбоплодів, силосу та сінажу. Таке планувальне рішення дає змогу істотно скоротити транспортні витрати, пов'язані з переміщенням кормової сировини в межах господарства [9].

Розмір кормових часток, що використовуються для годівлі тварин, визначається їх видом, віком, а також біологічними особливостями кормової сировини. У більшості випадків корми перед згодовуванням піддають подрібненню до заданих розмірів із застосуванням спеціалізованого обладнання. Так, для свиней фуражне зерно, як правило, подрібнюють до розмірів часток 0,2–1 мм, для великої рогатої худоби – до 1-2,6 мм [10].

Склад і тип технологічного обладнання кормоцеху залежать від прийнятої технології приготування кормових сумішей та біологічного виду тварин. Найбільш раціональним вважається приготування кормових сумішей із різнорідної сировини без застосування додаткових методів обробки, зокрема хімічної, термічної чи біологічної. Така технологія характеризується простотою

реалізації, доступністю та відносно низькими витратами. Кормові суміші, отримані за цією схемою, відзначаються високою поживною цінністю та доброякісністю. Послідовність операцій приготування кормів і вибір обладнання для їх переробки наведені на рисунку 1.1

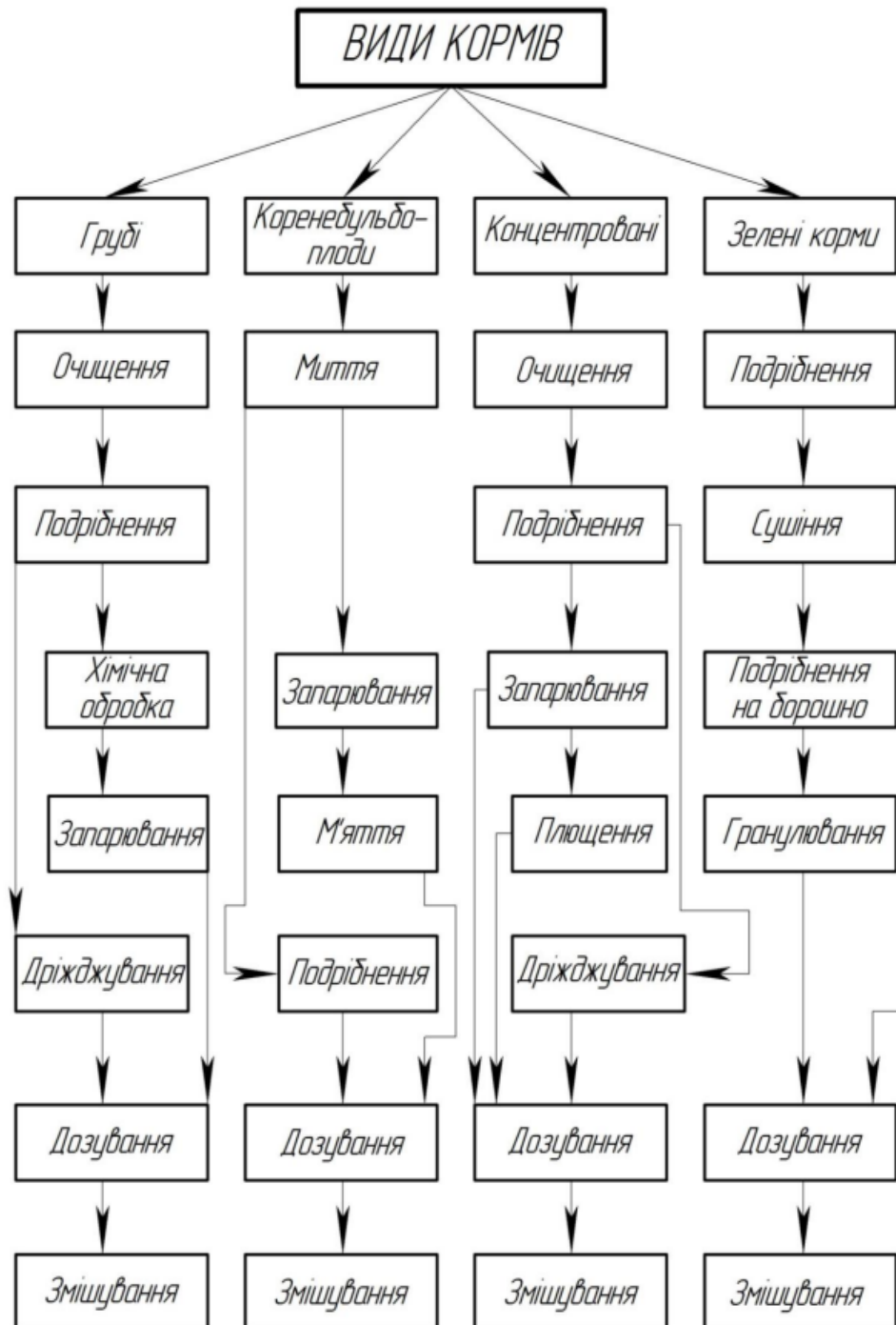
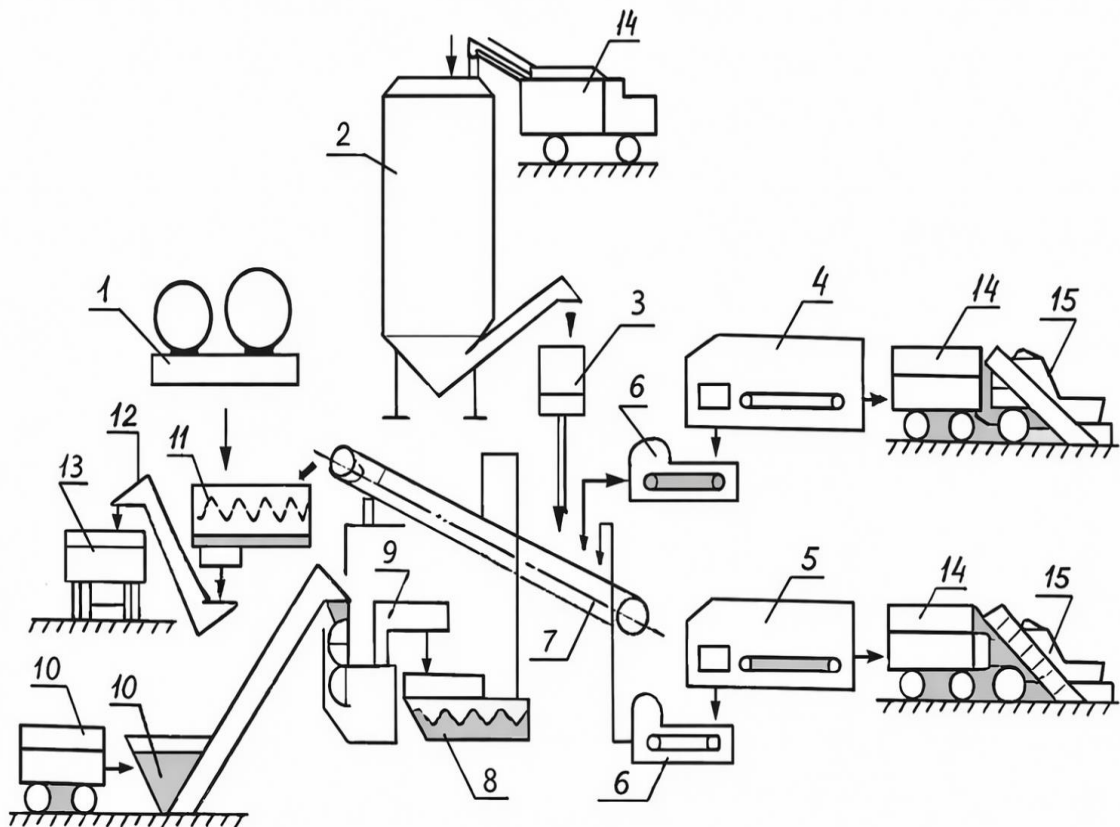


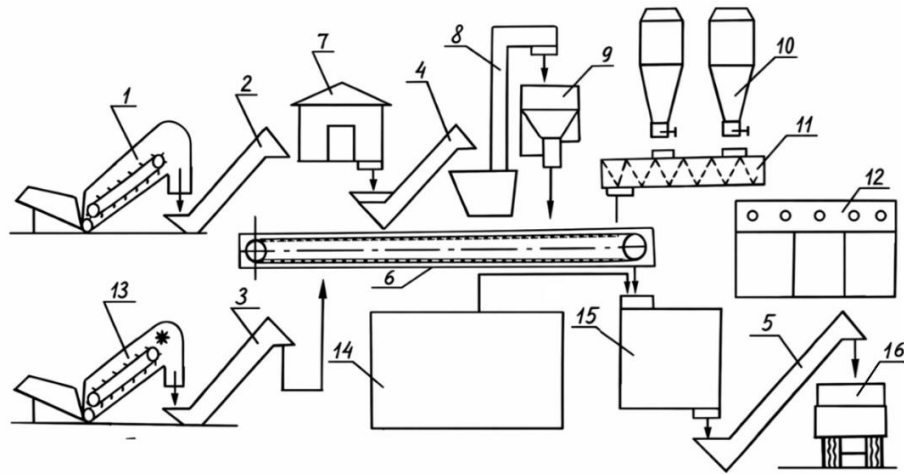
Рисунок 1.1 – Узагальнена технологічна схема підготовки та приготування кормів для тварин

На основі узагальненої технологічної схеми, наведеної на рисунку 1.1, формують варіанти компоновання кормоцехів із відповідним підбором машин і механізмів, що реалізують процеси підготовки та приготування кормів [10] (рис. 1.2–1.4).



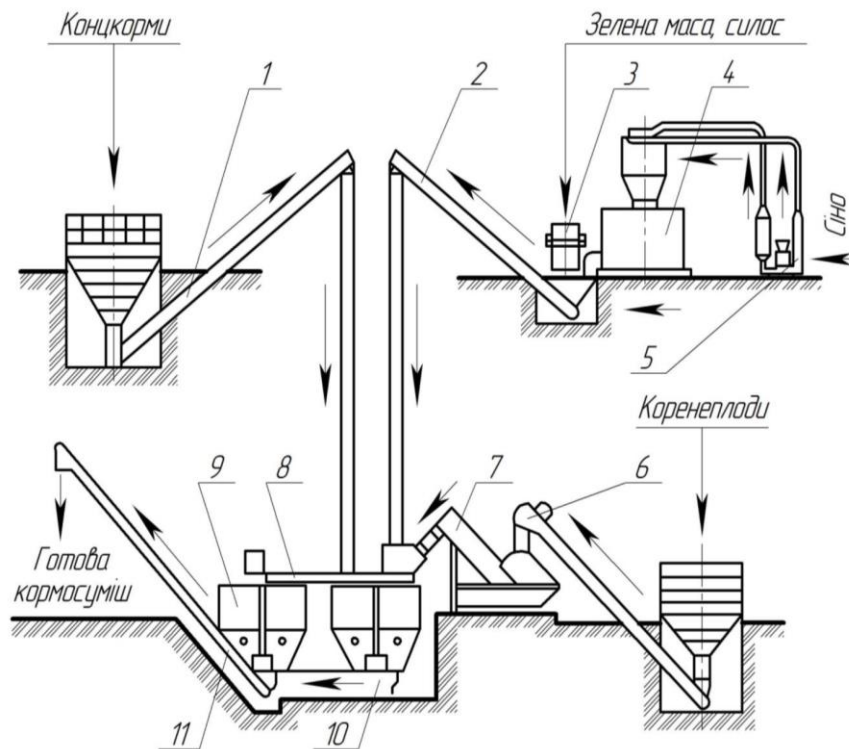
1 – ємність для води; 2 – приймальний бункер кормової сировини; 3 – дозувальний пристрій; 4, 5, 6, 7 – транспортери подавання кормів; 8 – дозатор; 9 – подрібнювач коренеплодів; 10 – бункер для коренебульбоплодів; 11 – змішувальний агрегат; 12 – транспортер відведення готової кормосуміші; 13, 14, 15 – транспортні засоби.

Рисунок 1.2 – Технологічна схема приготування кормів у кормоцеху КЦК-5



1, 2, 3, 4, 5, 6 – транспортуючі механізми; 7, 8, 9 – лінія транспортування та підготовки коренебульбоплодів; 10 – склад фуражного зерна; 11 – транспортер; 12 – клерувальний пристрій; 13 – система подавання грубих кормів; 14 – допоміжне технологічне обладнання; 15 – лінія підготовки кормів до згодовування; 16 – транспортні засоби.

Рисунок 1.3 – Схема приготування кормів у кормоцеху КОРК-15



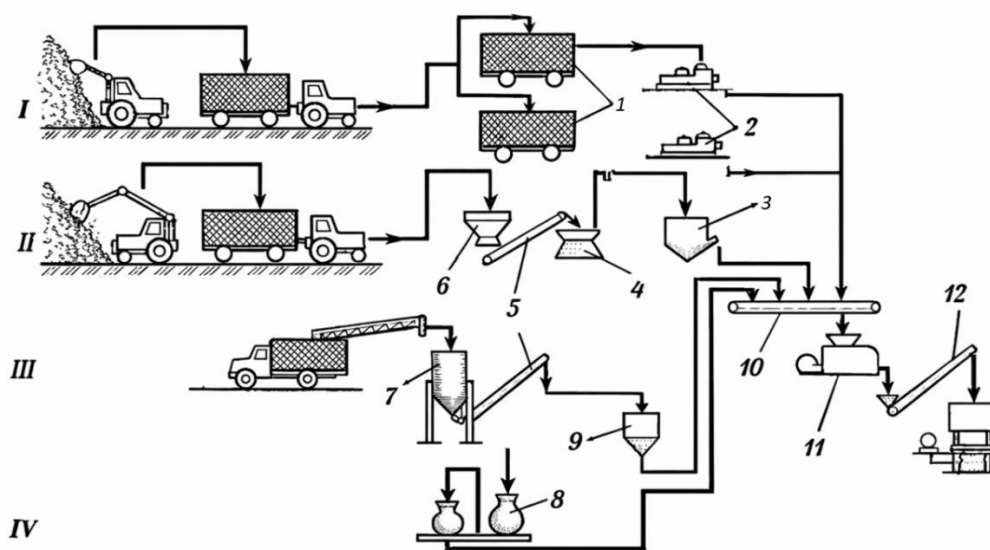
1, 2 – секції підготовки грубих кормів; 3, 4, 5, 6 – секція обробки коренеплодів і зеленої маси; 7, 9, 10 – секція підготовки концентрованих кормів; 8 – секція введення вітамінних та мінеральних добавок.

Рисунок 1.4 – Типовий кормоцех для відгодівлі тварин

На рисунку 1.5 представлено типову схему технологічних ліній приготування кормів, яка складається з чотирьох основних секцій, об'єднаних у єдиний технологічний процес.

I – секція обробки грубих кормів. У даній секції здійснюється приймання, подрібнення та, за потреби, зволоження грубих кормів (сіно, солома, сінаж). Основною метою секції є надання кормам необхідної фракції та підвищення їх поїдання тваринами. Після обробки грубі корми подаються на подальше змішування з іншими компонентами раціону[9;10].

II – секція підготовки коренебульбоплодів. Секція призначена для обробки коренеплодів і бульбоплодів (буряк, картопля, морква тощо). Тут виконуються операції миття, очищення від домішок, подрібнення та дозування кормів. Підготовлені коренебульбоплоди надходять у загальний потік кормової суміші.



I – секція обробки грубих кормів; II – секція підготовки коренебульбоплодів; III – секція обробки концентрованих кормів;
IV – секція введення вітамінних добавок.

Рисунок 1.5 – Типові технологічні лінії приготування кормів

III – секція обробки концентрованих кормів. У цій секції проводиться зберігання, подрібнення, дозування та, за необхідності, змішування

концентрованих кормів (зерно, комбікорми, шроти). Концентровані корми забезпечують раціон тварин енергією та поживними речовинами і подаються на змішування з іншими компонентами.

IV – секція введення вітамінних добавок. Секція призначена для точного дозування та введення вітамінних, мінеральних і біологічно активних добавок. Їх рівномірний розподіл у кормовій суміші забезпечує повноцінність та збалансованість раціону [10].

1.2. Огляд типових машин для забезпечення повноцінної роботи кормоцеху

1.2.1 Машини для подрібнення фуражного зерна

На ділянку підготовки фуражного зерна покладається виконання технологічної операції його подрібнення. Під час організації годівлі тварин необхідно дотримуватися встановлених зоотехнічних вимог до крупності помелу, зокрема: для великої рогатої худоби – розмір часток зерна до 3 мм; для свиней та овець – близько 1 мм; для птиці – у межах 2-3 мм.

Результативність роботи зернодробильної машини оцінюють за відповідним показником ефективності, який характеризує якість процесу подрібнення [2;10].

Коефіцієнт ступеня подрібнення λ визначається як відношення середнього розміру зернини до та після подрібнення:

$$\lambda = \frac{D}{d} \quad (1.1)$$

де λ – коефіцієнт ступеня поділу;

D – середній діаметр зерна до подрібнення, мм;

d – середній розмір часток подрібненого матеріалу, мм.

Таким чином, коефіцієнт λ характеризує кількість умовних фрагментів, на які необхідно поділити початкову зернину для досягнення заданої крупності помелу. Процес подрібнення фуражного зерна визначається двома основними чинниками: лінійною швидкістю робочих органів подрібнювальної машини (молотків) та числом ударних впливів на зернину, необхідних для забезпечення потрібного ступеня руйнування [5;6].

Швидкість руху молотків, за якої відбувається руйнування зернини, визначають за залежністю:

$$v_p = \sqrt{K_D \cdot \sigma_{вст} \cdot \ln\left(\frac{a}{x_1}\right) \cdot \rho}, \quad (1.2)$$

де K_D – коефіцієнт пропорційності;

$\sigma_{вст}$ – статична межа міцності зернини, що залежить від її виду, кПа;

a – максимальний лінійний розмір зернини, мм;

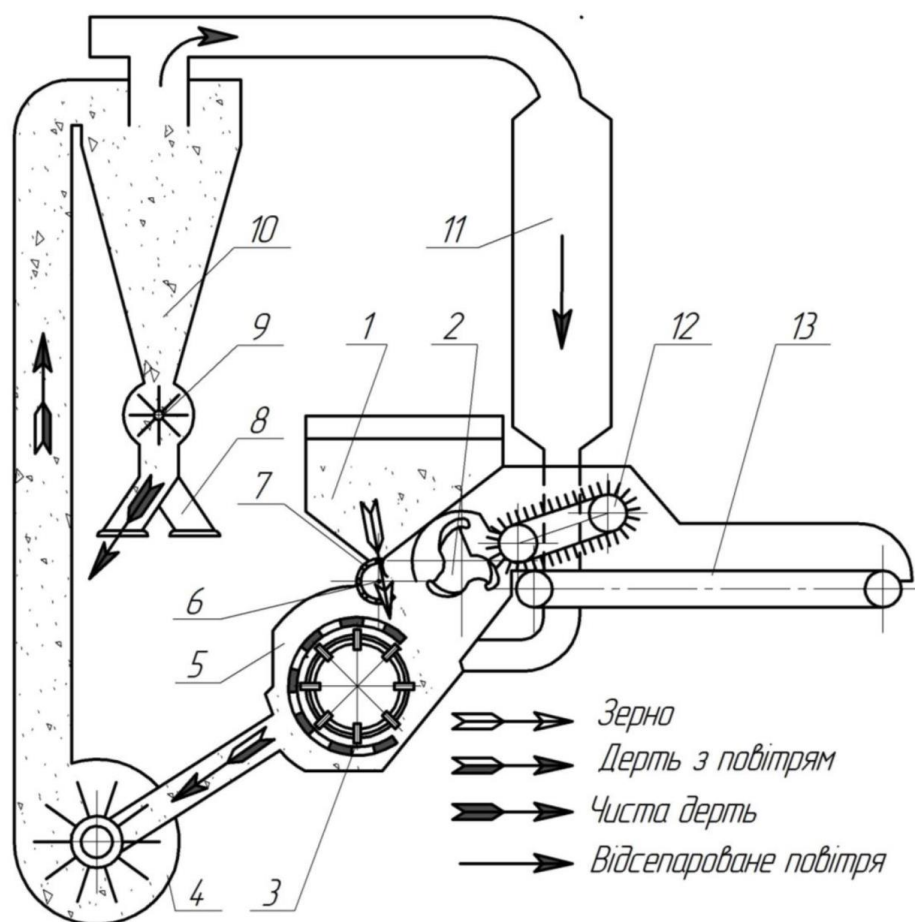
x_1 – розмір подрібненої частки, мм;

ρ – питома вага фуражного матеріалу.

Необхідну кількість ударів по зернині, за яких досягається заданий ступінь подрібнення, визначають за відповідною аналітичною залежністю.

$$Z = \lambda \cdot (\lambda - 0,445) \quad (1.3)$$

Типовим зразком обладнання для подрібнення фуражного зерна є молотковий подрібнювач КДУ-2 (рис. 1.6).



1 – завантажувальний бункер; 2 – захисний кожух; 3 – подрібнювальний ротор; 4 – вентилятор; 5 – калібрувальні решітки для формування фракцій дерті; 6 – магнітний уловлювач металевих домішок; 7 – пристрій регулювання подачі зерна; 8, 9, 10 – вузли вивантаження подрібненої зернової суміші; 11, 12, 13 – транспортуючі механізми.

Рисунок 1.6 – Схема молоткової машини для подрібнення фуражного зерна КДУ-2

1.2.2. Машини для підготовки коренебульб

Коренебульбоплоди (картопля, буряки, морква) є одним із базових компонентів кормових сумішей для більшості видів сільськогосподарських тварин. На тваринницькі ферми дана сировина, як правило, надходить із забрудненням, що може перевищувати 5%. Перед введенням коренебульбоплодів до складу кормосумішей їх необхідно підготувати шляхом

миття, очищення від твердих неїстівних домішок та подрібнення до фракцій, що відповідають зоотехнічним вимогам: для великої рогатої худоби – 10-15 мм; для свиней та овець – 7-8 мм; для птиці – у вигляді мезги.

Основним завданням секції підготовки коренебульбоплодів є забезпечення якісного миття, видалення сторонніх включень і подрібнення сировини до необхідної крупності згодовування [17;18].

Для реалізації зазначених операцій застосовують універсальні машини комплексної дії, зокрема мийки-подрібнювачі типу ІКМ-5.0 (рис. 1.7) або інші машини з аналогічними функціональними можливостями [2;3;5].

Продуктивність шнекового механізму мийки-подрібнювача визначають за залежністю:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot k_3 \cdot k_0 \quad (1.4)$$

де D – зовнішній діаметр шнека, м;

d – внутрішній діаметр вала шнека, м;

S – крок гвинтової лінії шнека, м;

n – частота обертання вала, с^{-1} ;

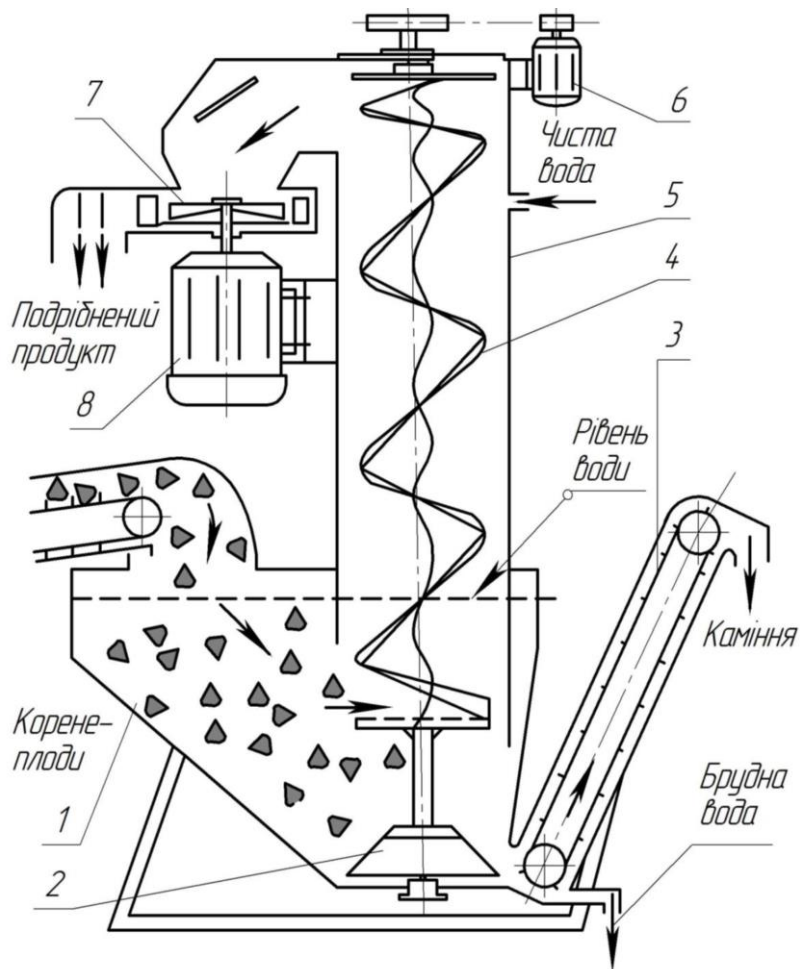
ρ – густина коренебульбоплодів, $\text{кг}/\text{м}^3$;

k_3, k_0 – коефіцієнти заповнення та нахилу шнекового механізму.

Виходячи із заданої продуктивності Q , визначають основні геометричні параметри шнека – його діаметр D та крок гвинта S . Частоту обертання вала мийки визначають за формулою:

$$n = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2) \cdot S \cdot \rho \cdot k_3 \cdot k_0} \quad (1.5)$$

Конструктивні та кінематичні параметри шнекових мийок визначаються їх продуктивністю та технологічним призначенням.



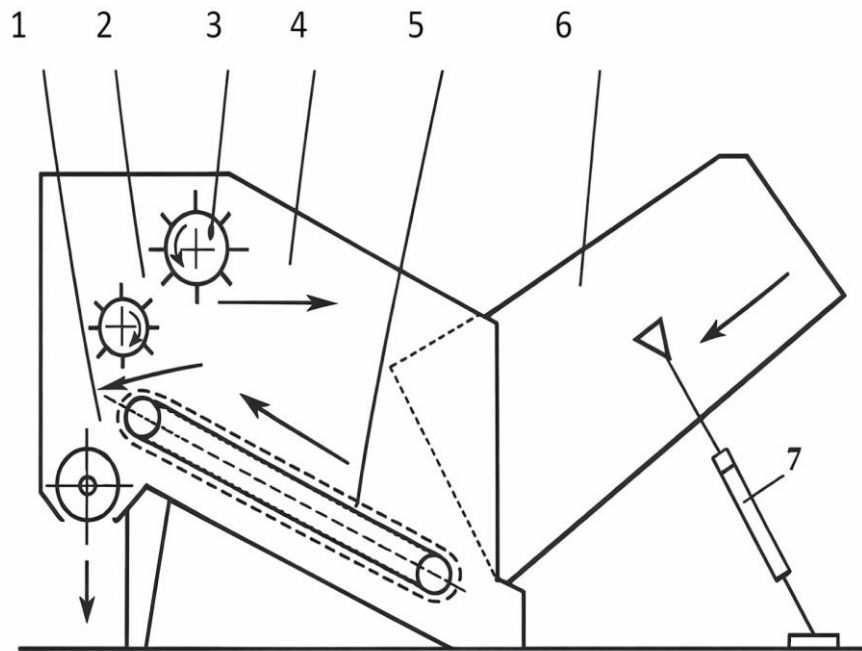
1 – мийна ванна; 2 – активатор; 3 – пристрій видалення домішок; 4 – транспортний шнек; 5 – захисний кожух; 6 – електродвигун; 7 – подрібнювальний механізм; 8 – електродвигун; 9 – рама.

Рисунок 1.7 – Схема технологічного процесу миття та подрібнення коренебульб машиною ІКМ-5.0

1.2.3. Машини для розшарування та подачі стеблових культур

Стеблові корми є обов'язковою складовою повноцінних раціонів годівлі тварин. До них належать силос, сіно, солома, кукурудзяні стебла та інші рослинні залишки, які надходять на ферму в різні періоди року. Перед введенням у склад кормосуміші ці корми необхідно розділити за фракціями, перемішати та забезпечити рівномірну подачу [1;5].

Для ефективного перемішування та дозованої подачі стеблових кормів у кормоцехах застосовують накопичувачі-живильники, технологічна схема одного з яких наведена на рисунку 1.8.



- 1 – шнековий транспортер; 2 – розподільний бітер;
 3 – вирівнювальний бітер; 4, 5 – механізми подачі стеблових кормів; 6 – бункер; 7 – гідропривід.

Рисунок 1.8 – Схема технологічного процесу живильника ШМ-1,5

Продуктивність живильника регулюється швидкістю подачі матеріалу, а також геометричними параметрами потоку [5]:

$$Q_{\text{ж}} = a \cdot b \cdot v \cdot \rho, \quad (1.6)$$

де a – висота потоку, м;

b – ширина бітера, м;

v – швидкість подачі сировини, м/с;

ρ – густина ущільненої стеблової маси, кг/м³.

Для енергетичної оцінки роботи живильників визначають необхідну потужність приводу:

$$N = N_{\text{ж}} + N_{\text{хх}} + N_{\text{вп}}, \quad (1.7)$$

де $N_{\text{ж}}$ – потужність на транспортування і притискання корму, Вт;

$N_{\text{хх}}$ – потужність холостого ходу механізмів, Вт;

$N_{\text{вп}}$ – потужність, витрачена на роботу гідроциліндра, Вт.

1.2.4. Машини для подрібнення стеблових кормів

Подрібнення стеблових кормів у більшості випадків здійснюють за допомогою дискових робочих органів із встановленими ножами, леза яких рухаються в площині кола (рис. 1.9).

Продуктивність подрібнювача значною мірою визначається геометричними параметрами його робочої зони та режимами роботи. Площа поперечного перерізу горловини подрібнювача визначається за формулою:

$$Q = a \cdot b \cdot l_{\min} \cdot \rho \cdot n \cdot z, \quad (1.8)$$

де a , b – геометричні параметри горловини, M ;

l_{\min} – мінімальна довжина подрібненої частки, M ;

ρ – густина ущільненої маси, $кг/м^3$;

n – частота обертання дисків c^{-1} ;

z – кількість ножів, шт.

Отримане значення характеризує об'єм матеріалу, який може проходити через горловину подрібнювача за один робочий цикл, і безпосередньо впливає на продуктивність машини [5;8].

Потужність, необхідна для процесу різання кормової маси, визначається за формулою [5]:

$$N = q \cdot l_p \cdot v \cdot k, \quad (1.9)$$

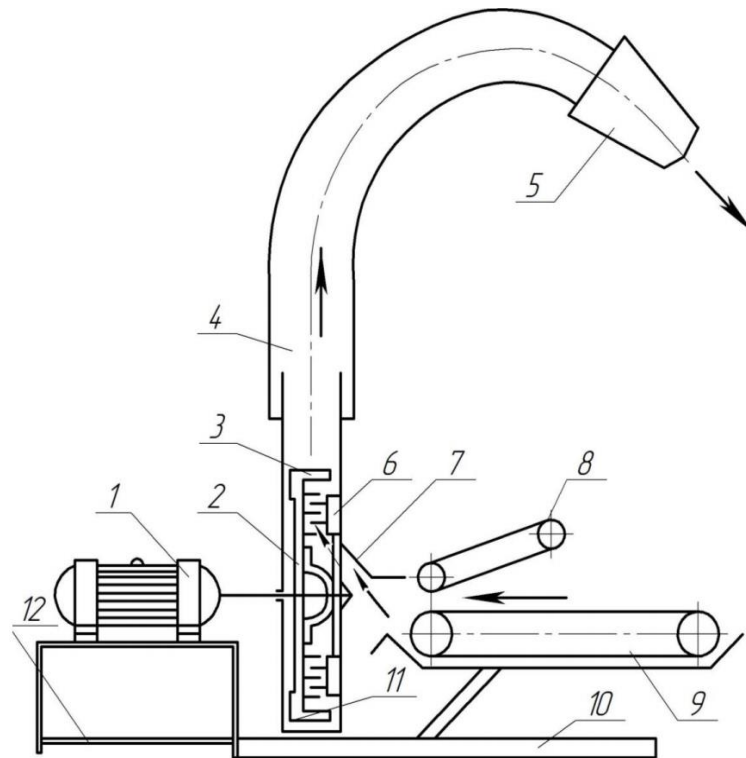
де q – питомий опір різанню, $Н/м$;

l_p – довжина ножа, $м$;

v – швидкість різання, $м/с$;

k – коефіцієнт, що враховує геометрію горловини.

$$k = \frac{a}{b} = 0,25 \div 0,45.$$



- 1 – електродвигун; 2 – ротор; 3 – диски;
 4, 5 – вивантажувальні канали; 6 – ножі;
 7 – камера різання; 8, 9 – притискний механізм;
 10 – станина; 11 – кожух; 12 – рама електродвигуна.

Рисунок 1.9 – Схема роботи соломо-силосорізки ІГК-Ф-4-1

Використання розрахункової залежності для визначення потужності різання кормової маси дозволяє оцінити енергетичні витрати процесу та підібрати раціональні режими роботи подрібнювача. Отримана формула враховує основні конструктивно-технологічні параметри, зокрема питомий опір різанню, довжину ножа, швидкість різання та коефіцієнт, що характеризує геометрію горловини [10].

Таким чином, встановлено, що потужність приводу подрібнювача суттєво залежить від фізико-механічних властивостей кормової сировини та конструктивних параметрів робочих органів, що необхідно враховувати при проектуванні та оптимізації роботи машини.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОРМОВОЇ БАЗИ ТА ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ

2.1. Аналітичне обґрунтування структури поголів'я свиней

Раціональна організація свинарського виробництва значною мірою залежить від правильно сформованої структури стада, яка забезпечує безперервність технологічного процесу, стабільне відтворення поголів'я та ефективне використання виробничих потужностей. Структура стада визначає співвідношення різних вікових і виробничих груп тварин, що безпосередньо впливає на продуктивність господарства, рівень виходу продукції та економічні показники виробництва [10;11].

Щоб визначити структуру стада свиней, необхідно розподілити загальну чисельність тварин за віковими (виробничими) групами відповідно до прийнятої технології відгодівлі та відтворення, враховуючи фізіологічні особливості тварин та виробничі потреби господарства (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Віково-виробнича структура поголів'я свиноферми

Категорія за віком тварин	Частка, %	Кількість голів
Свині віком 2...3 місяці	20	400
Свині віком 3...4 місяці	20	400
Свині віком 4...6 місяці	20	400
Свині віком 7...8 місяці	20	400
Свині віком 8...10 місяці	20	400
Всього	100	2000

Розрахунок умовної чисельності стада здійснюємо відповідно до формули:

$$m_y = \sum_{i=1}^k m_i \cdot \alpha_{yi} \quad (2.1)$$

де m_i – кількість тварин у відповідній віковій або виробничій групі

α_{yi} – коефіцієнт перерахунку фактичного поголів'я у умовну голову [9];

k – загальна кількість виділених груп тварин.

$$m_y = 400 \cdot 0,2 + 400 \cdot 0,4 + 400 \cdot 0,65 + 400 \cdot 0,85 + 400 \cdot 1 = 1243 \text{ голів}$$

2.2. Визначення та техніко-технологічне обґрунтування якісних і кількісних параметрів кормової бази

Відновлення та подальше зростання продуктивності тваринницької галузі можливі лише за умов активного впровадження сучасних технологій, засобів механізації, модернізації наявних виробничих потужностей, спорудження нових ферм і впорядкування систем інженерно-технічного обслуговування та ремонту обладнання. Усі ці заходи мають відповідати рівню концентрації виробництва, специфіці спеціалізації господарств, а також технологіям утримання та годівлі тварин [13;14].

Раціони для відгодівлі повинні бути строго збалансованими, причому для великої рогатої худоби (ВРХ) контролюється близько 20 нормованих показників, тоді як для свиней і птиці кількість таких показників сягає понад 50. Зі зростанням рівня інтенсифікації виробництва розширюється й перелік параметрів, що підлягають контролю та коригуванню [10].

Таблиця 2.2 – Гранично допустимі добові норми видачі кормів для великої рогатої худоби та свиней, кг.

Вид тварин	Зелена маса	Жом	Коренебульбоплоди	Силос	Сіно	Концентрати
ВРХ	25	25	10.12	10	10	3
Свині	5	3	2,5...3,0	-	-	1,0

Способи приготування кормів і комбінованих сумішей встановлюються відповідно до прийнятої технологічної схеми їх обробки та підготовки.

Застосування раціонально розробленої технології забезпечує можливість згодовування кормів у збалансованому та біологічно повноцінному вигляді.

Використання підготовлених кормів дозволяє досягти низки важливих технологічних переваг, а саме: підвищення поїдання тваринами; покращення та прискорення процесів перетравлення; зниження витрат на роздавання; уніфікацію обладнання для роздачі кормів; можливість точного балансування раціону за численними показниками; зменшення трудових витрат; поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу [15].

Добову потребу в кожному виді корму визначають згідно з формулою:

$$P_{Д.К_i} = m_{y_i} \cdot q_{1i}, \quad (2.2)$$

де m_{y_i} – чисельність тварин відповідного виду або вікової групи, поголів'я

свиней, голів; $m_y = 1243$ голів;

q_{1i} – добова норма споживання певного виду корму на одну умовну голову, кг/гол.

На підставі прийнятих вихідних показників визначаємо добову потребу господарства в кожному окремому виді кормів:

- зелених кормів (об'ємних грубих кормових ресурсів):

$$P_{Д.ГК} = 1243 \cdot 5 = 6215 \text{ кг};$$

- жому:

$$P_{Д.Ж} = 1243 \cdot 3 = 3729 \text{ кг};$$

- коренебульбоплодів:

$$P_{Д.К} = 1243 \cdot 3 = 3729 \text{ кг};$$

- концентрованих кормів:

$$P_{Д.КК} = 1243 \cdot 1 = 1243 \text{ кг}.$$

Загальна добова потреба у кормах, розрахована на умовне поголів'я свиней:

$$P_{Д} = P_{Д.ГК} + P_{Д.Ж} + P_{Д.К} + P_{Д.КК} = 6215 + 3729 + 3729 + 1243 = 14916 \text{ кг}.$$

2.3. Технологічні процеси підготовки кормів і обґрунтування вибору обладнання для кормоцеху

У процесі приготування кормів для переміщення матеріального потоку між окремими машинами або для його перевантаження застосовується допоміжне транспортно-технологічне обладнання. Воно забезпечує безперервність та потоковість виробничого процесу й дає змогу повністю усунути ручні операції.

Вибір конкретної технологічної схеми кормоприготування визначається наявними видами кормових компонентів та їх якісними характеристиками, а також віковими групами і видом тварин, для яких формують раціон, та типом годівлі, прийнятим у господарстві [16;18].

Практичний досвід експлуатації кормоцехів засвідчує, що для більшості видів кормів основними технологічними етапами є очищення та подрібнення. При виготовленні кормових сумішей незамінними операціями також виступають дозування інгредієнтів і їх подальше змішування.

Очищення від мінеральних домішок (грунту, каміння), насіння бур'янів та частинок соломи, проводять на зерноочисних агрегатах – сепараторах, буратах, грохотах тощо. Видалення металевих домішок здійснюють на магнітних сепараторах. Допустима кількість металевих частинок розміром до 2 мм з негострими краями не повинна перевищувати 30 мг на 1 кг готового корму [10].

Подрібнення здійснюють на дробарках або плющильних млинах до фракцій установленого розміру:

- для великої рогатої худоби – не більше 3 мм;
- для свиней – до 1 мм;
- для птиці – 2-3 мм при сухій годівлі та до 1 мм при згодовуванні вологих мішанок.

Згідно зі стандартами на комбікорми, борошно та висівки виділяють три ступені подрібнення, які характеризують середній розмір частинок (модуль помолу):

- 0,2-1 мм – дрібний помел;
- 1-1,8 мм – середній;
- 1,8-2,6 мм – крупний.

Дозування та змішування інгредієнтів відповідно до раціонів виконують на спеціалізованих дозаторах і змішувальних агрегатах. Правильно підібрані режими дозування та інтенсивність змішування забезпечують отримання однорідної кормової маси [19].

Однорідність кормової суміші є критичним параметром, адже вона визначає рівномірність поживної цінності по всьому об'єму. Для зернових кормів показник однорідності повинен становити не менше 90-95 % залежно від призначення за видом і віком тварин.

Одним із перспективних напрямів розвитку технологічного оснащення кормоцехів є формування уніфікованих комплектів обладнання, які інтегруються в технологічні лінії відповідно до заданої продуктивності та інших експлуатаційних параметрів. Використання таких комплектів дає змогу

суттєво зменшити вартість будівництва, спростити монтаж і подальшу експлуатацію обладнання, а також скоротити витрати праці та ресурсів під час приготування кормових сумішей [21].

У сучасному сільськогосподарському виробництві для комплексної механізації процесів кормоприготування промисловість випускає набори машин та агрегатів, які адаптуються до різних типів тваринницьких фермерських господарств залежно від їхньої потужності та прийнятих систем годівлі.

Для свиноферм, що займаються відгодівлею тварин, виробляються комплекти технологічного обладнання кормоцехів розраховані на 1000-8000 голів. Вони забезпечують приготування повнораціонних кормових сумішей із застосуванням коренеплодів, концентрованих та інших видів кормів (табл. 2.3).

Продуктивність технологічної лінії кормоцеху визначають з урахуванням її функціонального призначення (види кормів, що підлягають обробці), а також максимально допустимого періоду зберігання підготовленого корму до моменту згодовування, кількості даванок та інших експлуатаційних чинників [20].

Таблиця 2.3 – Комплектні лінії та обладнання кормоцехів для свинарських ферм і відгодівельних комплексів

Найменування та марка технологічної машини або одиниці обладнання	Потреба в обладнанні для ферм різної потужності, голів				
	100	200	300	6000	12000
Транспортер ТПК-5/10	1	1	1	1	1
Подрібнювач «Волгар-5»	1	1	1	1	2
Мийка-коренерізка ІКМ-5	1	1	1	1	2
Подрібнювач зерна КДУ-2	1	1	1	1	-
Живильник шнековий ПК-6	1	1	1	1	1
Транспортер коренебульбоплодів ТК-5Б	-	1	1	1	2
Транспортер ТС-40С	-	-	-	1	2
Транспортер ТС-40М	1	1	1	1	2
Шнек ШЗС-40М	1	1	1	1	2
Змішувач С-12	-	1	1	2	2

Продуктивність технологічної лінії для підготовки концентрованих кормів розраховують:

$$Q_{Л.КК} = \frac{P_{КК}}{T_1 \cdot \tau_{\text{ч}}}, \quad (2.3)$$

де $P_{КК}$ – маса концентрованих кормів, що підлягають технологічній

обробці, $P_{КК} = 1243 \text{ кг}$;

T_1 – тривалість, відведена на приготування однієї даванки з

максимальною кількістю відповідного виду корму $T_1 = 1 \text{ год.}$;

$\tau_{\text{ч}}$ – коефіцієнт ефективного використання змінного фонду робочого часу, $\tau_{\text{ч}} = 1$.

Звідки отримаємо:

$$Q_{Л.КК} = \frac{1243}{1 \cdot 1} = 1243 \text{ кг/год.}$$

Пропускну здатність (продуктивність) технологічної лінії, призначеної для підготовки коренеплодів, визначають відповідно до такої формули:

$$Q_{Л.К} = \frac{P_K}{T_K \cdot \tau_{\text{ч}} \cdot z_K}, \quad (2.4)$$

де P_K – маса коренеплодів, що підлягають обробці, $P_K = 3729 \text{ кг}$;

T_K – ранично допустимий час зберігання подрібнених коренебульбоплодів,

$T_K = 1 \dots 2 \text{ год.}$, у розрахунках приймаємо значення $T_K = 1 \text{ год}$;

z_K – кількість даванок коренеплодів, що видаються протягом доби, $z_K = 1$.

У числовому вигляді це набуває такого виразу:

$$Q_{Л.К} = \frac{3729}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 3729 \text{ кг/год.}$$

Пропускную здатність технологічної лінії, призначеної для подрібнення грубих кормів, визначають за такою формулою:

$$Q_{Л.ГК} = \frac{P_{ГК} \cdot K_{ГС}}{T_{ГК} \cdot \tau_{ч} \cdot z_{Г}}, \quad (2.5)$$

де $P_{ГК}$ – маса грубих кормів, що підлягають обробці, $P_{ГК} = 6215 \text{ кг}$;

$K_{ГС}$ – коефіцієнт, що враховує частку добової норми грубих кормів, які згодують у сухому вигляді $K_{ГС} = 1$;

$T_{ГК}$ – тривалість часу, передбачена для операції подрібнення грубих кормів, $T_{ГК} = 1 \text{ год}$;

$z_{Г}$ – кількість даванок грубих кормів протягом доби; у розрахунках приймаємо, $z_{Г} = 2$.

Після підстановки вихідних даних отримуємо:

$$Q_{Л.ГК} = \frac{6215 \cdot 1}{1 \cdot 2 \cdot 1} = 3108 \text{ кг/год.}$$

Пропускную здатність технологічної лінії для змішування кормів визначають на основі такої формули:

$$Q_{ЛЗМ} = \frac{1}{t_{Ц.ЗМ} \cdot z_{ЗМ}} \sum_{i=1}^n M_i, \quad (2.6)$$

де $\sum_{i=1}^4 M_i$ – загальна маса інгредієнтів, що входять до складу кормової

суміші відповідно до добового раціону тварин,

$$\sum_{i=1}^4 M_i = \Pi_{\text{д}} = 14916 \text{ кг};$$

$t_{\text{Ц.ЗМ}}$ – тривалість одного технологічного циклу змішування, $t_{\text{Ц.ЗМ}} = 1$ год.;

$z_{\text{ЗМ}}$ – кількість циклів змішування, що виконується протягом робочого часу кормоцеху, $z_{\text{ЗМ}} = 1$.

$$Q_{\text{ЛЗМ}} = \frac{1}{1.1} 14916 = 14916 \text{ кг/год.}$$

Відповідно до обраної технологічної схеми роботи кормоцеху здійснюємо підбір і розрахунок необхідної кількості технологічних машин та агрегатів. Обладнання, що входить до складу технологічної лінії приготування кормів, має гарантувати безперервність виробничого процесу та своєчасну підготовку кормів до вивантаження.

Добір машин та обладнання для кожної технологічної операції виконують згідно з прийнятою схемою кормоприготування, забезпечуючи узгодженість пропускної здатності й режимів роботи окремих агрегатів [5;21].

Чисельність машин визначеної марки, необхідних для комплектації технологічної лінії кормоцеху, встановлюють за такою формулою:

$$n_M = \frac{Q_{\text{Л.Р}}}{Q_{\text{Ф.М}}}, \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{Л.Р}}$ – розрахункова пропускна здатність (продуктивність) технологічної лінії, кг/год;

$Q_{\text{ФЛ}}$ – фактична продуктивність обраної машини певної марки, кг/год.

Для виконання операції подрібнення грубих кормів у складі технологічної лінії приймаємо подрібнювач з продуктивністю, $Q_{\Phi.M} = 5$ т/год [2;5]

$$n_{M1} = \frac{3,108}{5} = 0,622,$$

Для подальших розрахунків використовуємо значення $n_{M1} = 1$.

Для операції подрібнення концентрованих кормів у складі технологічної лінії обираємо дробарку марки КДУ-2,0, $Q_{\Phi.M} = 2$ т/год

$$n_{M2} = \frac{1,243}{2} = 0,622,$$

у подальших розрахунках використовуємо значення $n_{M2} = 1$.

Для виконання операцій із підготовки коренеплодів у технологічній лінії застосовуємо коренерізку типу ІКМ-5., $Q_{\Phi.M} = 5$ т/год [2,16]

$$n_{M3} = \frac{1,565}{5} = 0,373,$$

у подальших розрахунків використовуємо значення $n_{M3} = 1$.

Для реалізації процесу змішування кормових компонентів у складі технологічної лінії використовуємо змішувач моделі ШВС-40М. $Q_{\Phi.M} = 40$ т/год .

$$n_{M4} = \frac{14,916}{40} = 0,37,$$

у подальших розрахунках використовуємо значення $n_{M4} = 1$.

3 РОЗРАХУНКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ КОРМОЦЕХУ

3.1 Кінематичні розрахунки шнекового транспортера

Пропускну здатність (продуктивність) гвинтового транспортера обчислюємо відповідно до формули:

$$Q_{П.К} = \frac{3600 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot v_n \cdot \psi \cdot \gamma}{4} \text{ т/год,} \quad (3.1)$$

де $Q_{П.К}$ – продуктивність коренебульбомийної машини, $Q_{П.К} = 3,729$ т/год;

D – зовнішній діаметр шнекової спіралі, м;

d – діаметр вала шнека, $d = 0,1$ м;

v_n – швидкість поздовжнього переміщення коренеплодів уздовж осі транспортера, $v_n = 0,07$ м/с;

ψ – коефіцієнт заповнення робочого простору між кожухом і шнеком

$\psi = 0,5 \dots 0,8$, для вертикальних гвинтових транспортерів приймаємо

значення $\psi = 0,5$;

γ – об'ємна маса коренеплодів, $\gamma = 0,600$ т/м³.

Зовнішній діаметр шнекового робочого органу визначаємо на основі формули:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{П.К} + 3600 \cdot d^2 \cdot v_n \cdot \psi \cdot \gamma}{3600 \cdot \pi \cdot v_n \cdot \psi \cdot \gamma}}, \quad (3.2)$$

Отже, отримуємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,729 + 3600 \cdot 0,1^2 \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,600}} = 0,262 \text{ м.}$$

У подальших розрахунках приймаємо $D = 300$ мм.

Крок шнека визначають за залежністю:

$$S = (0,75 \dots 1,25) \cdot D. \quad (3.3)$$

У числовому виразі це становить:

$$S = 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії шнека по його зовнішній крайці визначаємо за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{D \cdot \pi}, \quad (3.4)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{S}{D \cdot \pi},$$

Таким чином отримуємо значення:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{270}{300 \cdot \pi} = 16^\circ.$$

Мінімальну частоту обертання вертикального гвинтового транспортера визначають за формулою:

$$n_{\min} = 13,5 \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\alpha_0 - \varphi_2)}{d \cdot \sin \varphi_2}}, \quad (3.5)$$

де φ_2 – кут тертя коренеплодів об поверхню гвинтової спіралі,

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = f_T, f_T = 0,3, \varphi_2 = \operatorname{arctg} 0,3 = 17^\circ;$$

α_0 – кут підймання гвинтової лінії по внутрішній крайці шнека.

Значення визначають за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S}{D_0 \cdot \pi}, \quad (3.6)$$

де D_0 – діаметр уявного кола, яке проходить через точку прикладання

тиску коренеплодів до гвинтової поверхні, м;

$D_0 = (0,7 \dots 0,8)D$, у розрахунках приймаємо:

$$D_0 = 0,75 \cdot 300 = 225 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії шнека по внутрішній крайці обчислюють за залежністю:

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{S}{D_0 \cdot \pi}, \quad (3.7)$$

Таким чином отримуємо:

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{270}{225 \cdot \pi} = 21^\circ.$$

Підставивши розрахункові параметри у формулу (3.5), визначаємо мінімальну частоту обертання шнекового вала:

$$n_{\min} = 13,5 \sqrt{\frac{9,81 \cdot \sin(21^\circ - 17^\circ)}{0,1 \cdot \sin 17^\circ}} = 65,6 \text{ об/хв.}$$

Мінімальна кутова швидкість обертання вала шнека визначається залежністю:

$$\omega_{\min} = \frac{\pi \cdot n_{\min}}{30}, \quad (3.8)$$

У числовому вираженні:

$$\omega_{\min} = \frac{\pi \cdot 65,6}{30} = 6,86 \text{ с}^{-1}.$$

Гранично допустиму кутову швидкість обертання шнека розраховують відповідно до формули [5]:

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \cos \psi \cdot (1 - f_T \cdot \operatorname{tg} \psi)}{S \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha}}, \quad (3.9)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

α – кут підймання гвинтової лінії шнека, $\alpha = 16$ град.;

f_T – коефіцієнт тертя коренебульбоплодів по зволоженій поверхні гвинтової

спіралі, приймаємо $f_T = 0,3$;

S – крок гвинта шнека, $S = 0,27 \text{ м}$;

ψ – кут між зовнішньою крайкою гвинтової спіралі та вертикальною віссю, приймаємо ψ град.

Кут, який формується між зовнішньою крайкою гвинтової спіралі та вертикальною віссю, визначають за залежністю:

$$\psi = \lambda - \alpha, \quad (3.10)$$

де λ – кут нахилу шнекового транспортера відносно горизонтальної площини, $\lambda = 90$ град.

Після підстановки вихідних параметрів отримуємо:

$$\psi = 90 - 16 = 74^\circ,$$

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot \cos 74^\circ \cdot (1 - 0,3 \cdot \operatorname{tg} 74^\circ)}{0,27 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} 16^\circ \cdot \sin 16^\circ}} = 16,0 \text{ c}^{-1}.$$

Максимально допустиме значення частоти обертання шнека розраховують за формулою:

$$n_{\max} = \frac{30 \omega_{\max}}{\pi}, \quad (3.11)$$

Звідки одержуємо:

$$n_{\max} = \frac{30 \cdot 16}{\pi} = 153 \text{ об/хв.}$$

Стабільне функціонування коренебульбомийної машини забезпечується за умови, що коренеплоди рівномірно ковзають по гвинтовій поверхні та не перекидаються через вал шнека [3;7]. Для цього робоча кутова швидкість повинна відповідати залежності:

$$\omega_{III} = (0,5 \dots 0,7) \omega_{\max}, \quad (3.12)$$

У подальших розрахунках приймаємо: $\omega_{III} = 0,6 \cdot 16 = 9,6 \text{ c}^{-1}$.

3.2. Розрахунок необхідної потужності електродвигуна, що приводить у дію шнековий механізм

Потужність шнекового транспортера, що витрачається на переміщення коренебульбоплодів, визначається за залежністю [5, 11]:

$$N = N_1 + N_2, \quad (3.13)$$

де N_1 – складова потужності, пов’язана з подоланням тертя вантажу об внутрішню поверхню кожуха шнека;

N_2 – потужність, необхідна для вертикального піднімання коренеплодів та компенсації сил тертя між матеріалом і гвинтовою поверхнею шнека.

Потужність, що витрачається на подолання тертя коренеплодів об внутрішню стінку кожуха шнека, визначають за формулою:

$$N_1 = \frac{F_u \cdot f_2 \cdot v_n}{102}, \quad (3.14)$$

де F_u – відцентрова сила, Н;

f_2 – коефіцієнт тертя між коренеплодами та боковою стінкою кожуха, приймаємо $f_2 = 0,6$.

Відцентрову силу обчислюють за формулою:

$$F_u = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot H \cdot \omega_{ш}^2 \cdot (D^3 - d^3) \cdot \psi}{12 \cdot g}, \quad (3.15)$$

де H – висота, на яку здійснюється піднімання коренеплодів; у розрахунках приймаємо $H = 2$ м.

Після підстановки всіх вихідних даних одержуємо:

$$F_y = \frac{\pi \cdot 6000 \cdot 2 \cdot 9,6^2 \cdot (0,3^3 - 0,1^3) \cdot 0,7}{12 \cdot 9,81} = 537 \text{ Н};$$

$$N_1 = \frac{537 \cdot 0,6 \cdot 0,07}{102} = 0,22 \text{ кВт.}$$

Потужність, необхідну для переміщення коренеплодів у вертикальному напрямку та подолання тертя між ними й поверхнею гвинтової спіралі, визначають за виразом:

$$N_2 = \frac{F_1 \cdot R_{сер} \cdot \omega_{Ш} + F_2 \cdot R_{сер} \cdot \omega_{Ш}}{1000}, \quad (3.16)$$

де F_1 – сила, що витрачається на піднімання коренеплодів,

F_2 – сила, пов'язана з подоланням тертя коренеплодів об поверхню шнека,

$R_{сер}$ – середній радіус гвинтової поверхні.

Величину сили піднімання, сили тертя та середній радіус поверхні шнека визначають на основі таких залежностей:

$$F_1 = \frac{Q_{ДК} \cdot H \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)}{3600 \cdot v_n}; \quad (3.17)$$

$$F_2 = F_y \cdot f_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (3.18)$$

$$R_{сер} = \frac{D + d}{2}. \quad (3.19)$$

У числовому вираженні це становить:

$$F_1 = \frac{4550 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}(16^\circ + 17^\circ)}{3600 \cdot 0,7} = 234 \text{ Н};$$

$$F_2 = 537 \cdot 0,6 \cdot \operatorname{tg}(16^\circ + 17^\circ) = 209 \text{ Н};$$

$$R_{\text{сер}} = \frac{0,3 + 0,1}{2} = 0,2 \text{ м};$$

$$N_2 = \frac{234 \cdot 0,2 \cdot 9,6 + 209 \cdot 0,2 \cdot 9,6}{1000} = 0,85 \text{ кВт.}$$

Потужність, яку необхідно передати на вал шнекового механізму, визначають за формулою:

$$N_0 = \frac{(N_1 + N_2) \cdot K_0}{\eta_n}, \quad (3.20)$$

де K_0 – коефіцієнт, що враховує особливості переміщення коренеплодів; у розрахунках приймаємо, $K_0 = 1,2$;

η_n – загальний коефіцієнт корисної дії шнекового приводу, $\eta_n = 0,97$.

Після підстановки необхідних величин до формули одержуємо:

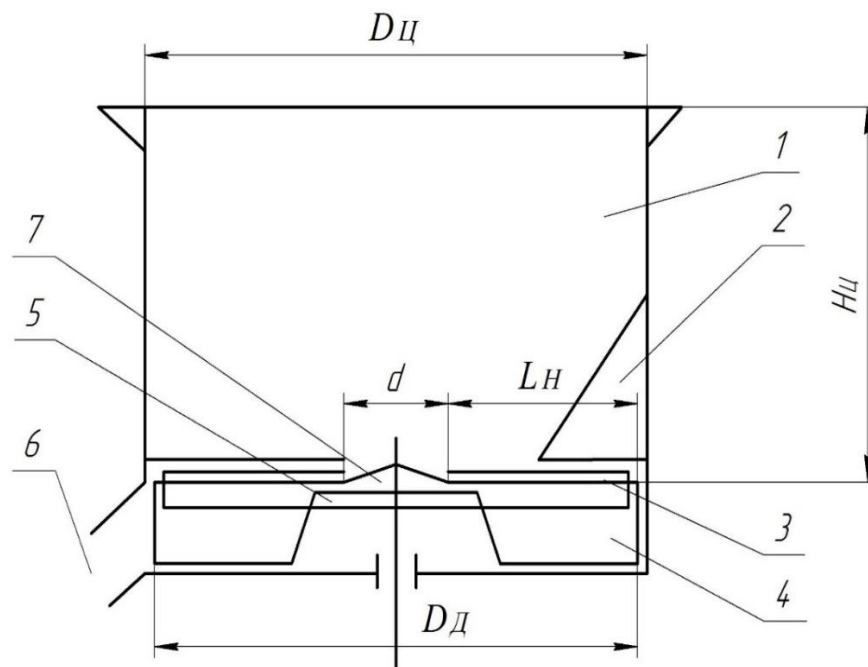
$$N_0 = \frac{(0,22 + 0,85) \cdot 1,2}{0,97} = 1,32 \text{ кВт.}$$

3.3. Інженерний розрахунок горизонтальної дискової машини для різання коренебульбоплодів

Горизонтальні дискові машини для різання коренебульбоплодів є важливим видом технологічного обладнання у кормовиробництві, оскільки забезпечують подрібнення сировини до заданих розмірів, що підвищує її засвоюваність тваринами та полегшує подальше змішування кормів. Вони

широко застосовуються при підготовці кормових сумішей у тваринництві, зокрема для великої рогатої худоби та свиней [17;23].

Конструктивно-технологічна схема горизонтально-дискової коренебульборізки з рухомим ножем наведена на рисунку 3.1 і відображає принцип дії машини, взаємодію основних робочих органів та послідовність виконання процесу різання коренебульбоплодів. Коренеплоди надходять у завантажувальний бункер через транспортер або шляхом розвантаження самоскида. Нижня частина маси коренеплодів занурена у воду, завдяки чому присохлий ґрунт розмокає та легше відділяється. У процесі роботи агрегату коренеплоди за допомогою шнека спрямовуються у верхню частину кожуха до подрібнювального барабана, де відбувається їх інтенсивне промивання водою, що подається насосом у зустрічному напрямку до потоку матеріалу. Забруднена вода разом із частинками ґрунту стікає вниз і через прорізи потрапляє у ванну. Після відстоювання верхній шар очищеної води всмоктується відцентровим насосом і повторно використовується у системі миття [3;11].



1 – циліндрична камера; 2 – упорний елемент; 3 – рухомий ніж; 4 – крилач (лопатевий орган подачі); 5 – обертовий диск; 6 – вивантажувальний патрубок; 7 – корпус машини.

Рисунок 3.1 – Схема горизонтально-дискової коренебульборізки

Подрібнення коренеплодів здійснюється горизонтальною дисковою коренебульборізкою з рухомим ножем. За рахунок високої колової швидкості різального органу подрібнена маса далі викидається у бункер приймання. Зниження рівня води у ванні призводить до збільшення кількості захоплюваних коренеплодів і може викликати перевантаження подрібнювального механізму. Різальний апарат забезпечує подрібнення сировини до часток розміром 0,2...0,6 см.

Максимально допустиму частоту обертання диска з ножами горизонтально-дискової коренебульборізки визначають за формулою:

$$n_{\max} = \sqrt{\frac{2g}{b_{\max} \cdot Z_H^2}}, \quad (3.22)$$

де b_{\max} – максимальна товщина стружки, становить $b_{\max} = 0,04$ м;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

Z_H – кількість різальних ножів; у розрахунках приймаємо $Z_H = 4$ шт,

Звідси отримуємо:

$$n_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{0,4 \cdot 4^2}} = 5,54 \text{ об/с.}$$

Реальну (робочу) частоту обертання диска визначаємо за формулою:

$$n_{\partial} = (0,7 \dots 0,8) n_{\max}. \quad (3.23)$$

Звідки:

$$n_{\partial} = 0,8 \cdot 5,54 = 4,43 \text{ об/с.}$$

Зовнішній діаметр кола, яке описує траєкторія руху ножів, обчислюють за формулою:

$$D_K = \sqrt{\frac{250 Q_{ПК}}{b_{\min} \cdot Z_H \cdot \rho_K \cdot K_H \cdot \pi \cdot n_{\partial}}}, \quad (3.24)$$

де $Q_{ПК}$ – продуктивність горизонтально-дискової коренебульборізки;

приймаємо, $Q_{ПК} = 1,264$ кг/с;

b_{\min} – мінімальна товщина стружки, $b_{\min} = 0,02$ м;

K_H – коефіцієнт, що характеризує використання робочої довжини ножа,

$K_H = 0,8$;

ρ_K – густина коренеплодів, $\rho_K = 600$ кг/м³.

Підставивши числові значення, отримуємо:

$$D_K = \sqrt{\frac{250 \cdot 1,264}{0,02 \cdot 4 \cdot 600 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 4,43}} = 0,76 \text{ м.}$$

Довжину різального ножа визначають за залежністю:

$$L_H = \frac{D_K - d}{2}, \quad (3.25)$$

де d – діаметр диска по внутрішньому кінцю ножа, $d = 0,12$ м.

У результаті:

$$L_H = \frac{0,76 - 0,12}{2} = 0,32 \text{ м.}$$

Діаметр диска горизонтально-дискової коренебульборізки розраховуємо за формулою:

$$D_D = D_K + 0,01. \quad (3.26)$$

У числовому вигляді це дорівнює:

$$D_{Д} = 0,76 + 0,01 = 0,77 \text{ м.}$$

Діаметр завантажувального циліндра визначаємо за формулою:

$$D_{Ц} = D_{Д} + 0,01. \quad (3.27)$$

Таким чином отримуємо:

$$D_{Ц} = 0,77 + 0,01 = 0,78 \text{ м.}$$

Об'єм завантажувального циліндра визначають за залежністю:

$$v_{Ц} = \frac{60 t_{Ц} \cdot Q_{ПК}}{\rho_K}, \quad (3.28)$$

де $t_{Ц}$ – максимально допустимий час перебування коренеплодів у завантажувальному циліндрі, за якого гарантується безперервний режим роботи коренерізки, $t_{Ц} = 5$ хв.

Підставивши вихідні дані, отримуємо:

$$v_{Ц} = \frac{60 \cdot 5 \cdot 1,264}{600} = 0,63 \text{ м}^3.$$

Висоту завантажувального циліндра визначають за формулою:

$$H_{Ц} = \frac{4 v_{Ц}}{\pi \cdot D_{Ц}^2} \quad (3.29)$$

У числовому вираженні це становить:

$$H_{Ц} = \frac{4 \cdot 0,63}{\pi \cdot 0,78^2} = 1,32 \text{ м.}$$

3.4 Розрахунок енергоспоживання горизонтально-дискової коренебульборізки

Потужність, необхідну для здійснення процесу подрібнення коренеплодів, визначають за формулою [6]:

$$N_{ПОДР} = q_P \cdot L_H \cdot K_H \cdot K \cdot Z_H \cdot n_{\partial} \left(\frac{D_K + d_D}{2} \right), \quad (3.30)$$

де q_P – питома зусилля різання, $q_P = 1,7$ Н/мм;

L_H – довжина робочого ножа; у розрахунках приймаємо, $L_H = 320$ мм;

K – коефіцієнт, який враховує наявність проміжків між коренеплодами,

$K = 0,6$.

У результаті розрахунку отримуємо:

$$N_{ПОДР} = 1,7 \cdot 320 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 4 \cdot 4,43 \left(\frac{760 + 120}{2} \right) = 2036000 \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{с}} = 2,036 \text{ кВт}$$

Потужність, що витрачається на подолання сил тертя коренеплодів об поверхню диска, визначають за залежністю:

$$N_T = f_T \cdot Q_{ПК} \cdot R \cdot n_{\partial} \cdot K_1 \cdot t_1, \quad (3.31)$$

де f_T – коефіцієнт тертя (ковзання) поверхні коренеплоду по диску;

у розрахунках, $f_T=0,5$;

R – зовнішній радіус траєкторії ножів, $R = D_K / 2 = 0,76 / 2 = 0,38$ м;

K_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення сил тертя внаслідок зрізання матеріалу, $K_1 = 0,8$;

t_1 – проміжок часу, який забезпечує необхідну продуктивність; приймаємо,
 $t_1 = 5$ хв.

Після підстановки отримуємо:

$$N_T = 0,5 \cdot 12,664 \cdot 0,38 \cdot 4,43 \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 60 = 2553 \text{ Вт} = 2,553 \text{ кВт.}$$

Потужність, необхідну для приводу горизонтально-дискової коренебульборізки, розраховують за формулою:

$$N = (N_{ПОДР} + N_T) \cdot K_3, \quad (3.32)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує нерівномірність подачі коренеплодів на ножі та додаткові втрати на подолання тертя об поверхню циліндра коренерізки; у розрахунках $K_3 = 1,4$.

Таким чином:

$$N = (2,036 + 2,553) \cdot 1,4 = 6,43 \text{ кВт.}$$

Загальну енергоємність горизонтально-дискової коренебульборізки визначають за формулою:

$$N_K = N_o + N. \quad (3.33)$$

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$N_K = 1,32 + 6,43 = 7,75 \text{ кВт}$$

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Загальні положення з охорони праці на кормоцехах свинарських ферм

Охорона праці є важливою складовою виробничої діяльності на підприємствах тваринницького напрямку. Під час експлуатації кормоцеху для відгодівлі свиней працівники піддаються впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, пов'язаних з роботою механізмів, електрообладнання, рухомих частин машин, шумом, пилом та підвищеною вологістю повітря.

Основними завданнями охорони праці є створення безпечних умов праці, зниження виробничого травматизму, професійних захворювань та забезпечення відповідності робочих місць чинним нормативним вимогам. Організація безпечної експлуатації кормоцеху повинна здійснюватися відповідно до вимог законодавства України з охорони праці, правил техніки безпеки та санітарно-гігієнічних норм [4;14].

Під час роботи кормоцеху з використанням подрібнювача ІКМ-5.0 на працівників можуть діяти такі небезпечні та шкідливі фактори:

- механічні фактори – рухомі та обертові частини подрібнювача, ножі, приводні вали;
- електричні фактори – ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції або несправності електрообладнання;
- шум і вібрація, що виникають під час роботи подрібнювача та іншого обладнання;
- пил кормової маси, який утворюється в процесі подрібнення зерна та грубих кормів;
- підвищена вологість і температура повітря у виробничому приміщенні;
- фізичне навантаження працівників під час завантаження та обслуговування обладнання.

Наявність зазначених факторів потребує впровадження комплексу технічних і організаційних заходів для забезпечення безпечних умов праці.

4.2 Заходи з безпеки праці під час експлуатації подрібнювача ІКМ-5.0

Безпечна експлуатація подрібнювача ІКМ-50 є однією з важливих умов ефективної роботи кормоцеху для відгодівлі свиней. У процесі роботи даного обладнання працівники можуть піддаватися дії небезпечних виробничих факторів, пов'язаних з наявністю обертових і різальних елементів, електроприводу, підвищеного рівня шуму та запиленості повітря. Недотримання вимог охорони праці під час обслуговування та експлуатації подрібнювача може призвести до виробничого травматизму, аварійних ситуацій і виходу обладнання з ладу [4;14].

З метою запобігання нещасним випадкам та забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватись комплексу організаційних і технічних заходів, які регламентують порядок підготовки обладнання до роботи, правила його експлуатації, технічного обслуговування та ремонту. Реалізація цих заходів сприяє зниженню виробничих ризиків, підвищенню рівня безпеки праці та забезпечує надійну і безперебійну роботу подрібнювача ІКМ-5.0.

Для забезпечення безпечної роботи подрібнювача ІКМ-5.0 необхідно дотримуватись таких вимог:

- усі рухомі та різальні елементи повинні бути закриті захисними кожухами;
- запуск та зупинка подрібнювача мають здійснюватися лише з пульта керування;
- забороняється очищення, регулювання та ремонт обладнання під час його роботи;

- перед початком роботи необхідно перевіряти справність електроприводу, заземлення та захисних пристроїв;

- персонал повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту: спецодягом, рукавицями, захисними окулярами та протишумними навушниками;

- до роботи допускаються лише працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці та мають відповідну кваліфікацію.

Дотримання зазначених вимог дозволяє суттєво знизити ризик травмування персоналу.

Електрообладнання кормоцеху, зокрема електродвигуни подрібнювача ІКМ-5.0, повинно відповідати вимогам електробезпеки. Основними заходами електробезпеки є:

- заземлення металевих корпусів машин та обладнання;
- використання автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення;
- регулярна перевірка стану електропроводки та ізоляції;
- заборона експлуатації несправного електрообладнання;
- проведення періодичних інструктажів з електробезпеки для обслуговуючого персоналу.

4.3 Санітарно-гігієнічні умови праці

Для забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних умов у кормоцеху необхідно:

- обладнати приміщення ефективною припливно-витяжною вентиляцією для зменшення концентрації пилу;
- забезпечити достатнє природне та штучне освітлення робочих зон;

- підтримувати оптимальні параметри мікроклімату відповідно до санітарних норм;

- регулярно проводити прибирання та санітарну обробку приміщень.

Поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці сприяє збереженню здоров'я працівників і підвищенню продуктивності праці [4].

4.4 Пожежна безпека у кормоцеху

Кормоцехи відносяться до приміщень з підвищеною пожежною небезпекою через наявність горючих матеріалів, таких як зерно, комбікорми, солома, а також через використання електрообладнання і приводних механізмів подрібнювачів та іншого устаткування. Під час експлуатації подрібнювача ІКМ-5.0 і суміжного обладнання існує ризик нагрівання деталей, коротких замикань та утворення іскр, що може стати джерелом займання.

До основних заходів належать: обладнання приміщення первинними засобами пожежогасіння, встановлення систем сигналізації, регулярне очищення від пилу та горючих відходів, дотримання правил експлуатації електрообладнання, проведення інструктажів з пожежної безпеки для персоналу та розробка планів евакуації на випадок надзвичайних ситуацій [4;14].

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було досліджено та обґрунтовано основні елементи технологічного процесу приготування кормів для відгодівлі свиней із використанням подрібнювача ІКМ-5.0. На основі проведеного аналізу отримано такі результати:

1. Проведено аналіз технологічних особливостей приготування кормів для відгодівлі свиней у кормоцехах, що дозволило визначити основні вимоги до процесу підготовки кормових сумішей.

2. Розроблено технологічну схему кормоцеху з використанням подрібнювача ІКМ-5.0, яка забезпечує раціональну організацію виробничого процесу.

3. Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри подрібнювача ІКМ-5.0 для забезпечення якісного та рівномірного подрібнення кормової сировини.

4. Виконано розрахунок продуктивності кормоцеху та окремих технологічних ланок, що дозволило оцінити його виробничі можливості та ефективність функціонування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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, 2020.
8. 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 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 20–21.
9. Мельник І. П. Технологія виробництва і приготування кормів для тваринництва. Київ : НУБіП України, 2018. 240 с.

10. 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.
11. 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.
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., Антончак Н. А. Основи агрономії : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 320 с.
14. 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.
15. 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.
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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>
17. Berezhenko E., Pankiv V., Berezhenko B. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany, Frankfurt: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC 2021. Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15. 137.

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. 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.
20. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of TNTU*. 2022. Vol. 108, No. 4. P. 5–15.
21. Hevko 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.
22. Hevko 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. 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. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.04.060

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	кіль.	Примітка
				<u>Документація</u>		
			КРБ 22-169.03.00.СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	КРБ 22-169.03.001	Диск подрібнення	1	
		2	КРБ 22-169.03.002	Плита кріплення двигуна	1	
		3	КРБ 22-169.03.003	Рама	1	
				<u>Деталі</u>		
Б/к		4	КРБ 22-169.03.004	Бункер	1	
А3		5	КРБ 22-169.03.005	Вал	1	
Б/к		6	КРБ 22-169.03.006	Верхній диск	1	
Б/к		7	КРБ 22-169.03.007	Дека	1	
Б/к		8	КРБ 22-169.03.008	Корпус	1	
Б/к		9	КРБ 22-169.03.009	Кришка	1	
Б/к		10	КРБ 22-169.03.010	Лопаті	2	
Б/к		11	КРБ 22-169.03.011	Лоток	1	
А4		12	КРБ 22-169.03.012	Ніж	4	
А4		13	КРБ 22-169.03.013	Палець шарніру	1	
А4		14	КРБ 22-169.03.014	Регулювальна пластина	2	
А4		15	КРБ 22-169.03.015	Спеціальний болт	1	
А3		16	КРБ 22-169.03.016	Ступиця верхнього диска	1	
Б/к		17	КРБ 22-169.03.017	Ступиця нижнього диска	1	
Б/к		18	КРБ 22-169.03.018	Швирялка	1	

				КРБ 22-169.03.00 СК		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разрад.	Вільчинський Б.О.				Лист	Листів
Пров.	Довбущ Т.А.					1
Консультант	Довбущ Т.А.				ФМТ, гр. МГ-41	
Н.контр.	Сташків М.Я.					
Утв.	Бабій А.В.					

