

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: «Підвищення ефективності системи годівлі свиней з розробкою  
дозатора мікродобавок»

Виконав: студент \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_ МГ-41  
спеціальності \_\_\_\_\_ 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Віцяк Ю.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Цьонь Г.Б.  
(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 Віцяку Юрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності системи годівлі свиней з розробкою дозатора мікродобавок»

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 11 червня 2026 року

3. Вихідні дані до режим роботи та основні конструктивні параметри роботи: мікродозатора

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1 Мікродобавки у тваринництві та технології їх внесення.

2. Рекомендації щодо удосконалення системи подачі кормів і мікродобавок

3. Проектування та розрахунок дозатора мікродобавок 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу

1- 2 Мета, предмет, об'єкт, завдання. 3-5 Схеми та натурні зразки дозаторів

6. Технологічна схема процесу змішування основних кормів з мікродобавками

7. Принципова схема роботи шнекового транспортного механізму. 8. Конструктивна схема живильника-завантажувача кормів. 9. Лінія кормоцеху. 10. Дозатор мікродобавок. 11-12 Деталі мікродозатора

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

26 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Мікродобавки у тваринництві та технології їх внесення	до 20.02.2026	
2	Рекомендації щодо удосконалення системи подачі кормів і мікродобавок	до 31.03.2026	
3	Проектування та розрахунок дозатора мікродобавок	до 08.04.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 30.04.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 12.05.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 05.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Віцяк Ю.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Цьонь Г.Б.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Віцяк Юрій Васильович

**Тема роботи** – «Підвищення ефективності системи годівлі свиней з розробкою дозатора мікродобавок». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету 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 (28 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 66 сторінок на яких є 18 рисунків.

**Актуальність теми роботи.** В умовах інтенсифікації тваринницького виробництва та впровадження сучасних автоматизованих технологій особливої актуальності набуває підвищення ефективності систем годівлі свиней. Повноцінна та збалансована годівля є одним із головних чинників забезпечення високої продуктивності свинарства, підвищення приростів живої маси, зниження витрат кормів і покращення якості продукції.

Одним із важливих елементів системи годівлі є точне дозування мікродобавок, до складу яких входять вітаміни, мінеральні речовини, ферментні препарати та інші біологічно активні компоненти. Навіть незначні відхилення у дозуванні можуть негативно впливати на ріст і розвиток тварин, ефективність використання кормів та економічні показники виробництва.

Традиційні способи внесення мікродобавок часто характеризуються недостатньою точністю дозування, нерівномірністю змішування компонентів, значними втратами матеріалу та високими витратами праці. Це знижує ефективність кормовиробництва та ускладнює впровадження сучасних технологій автоматизованої годівлі.

Застосування дозаторів мікродобавок дозволяє забезпечити точне й безперервне подавання сипких і порошкоподібних компонентів у кормові

суміші, підвищити однорідність змішування, зменшити перевитрати дорогих добавок і покращити технологічний процес приготування кормів. Особливо перспективним є використання стрічкових мікродозаторів, які відзначаються простотою конструкції, стабільністю подачі матеріалу та можливістю автоматичного регулювання продуктивності.

Тому підвищення ефективності системи годівлі свиней шляхом розробки дозатора мікродобавок є актуальним завданням, спрямованим на зниження собівартості продукції, підвищення продуктивності тварин та вдосконалення технологічних процесів у свинарстві.

**Мета роботи:** дослідження та вдосконалення системи годівлі свиней шляхом розробки дозатора мікродобавок для забезпечення точного дозування сипких і порошкоподібних компонентів та підвищення ефективності приготування кормових сумішей.

**Завдання:**

1. Провести аналіз сучасних технологій використання мікродобавок у годівлі свиней, їх класифікації, функціонального призначення та механізмів внесення до кормових сумішей.

2. Обґрунтувати вибір механізмів подачі кормів і мікродобавок до змішувача кормів та виконати розрахунок основних параметрів шнекового транспортера і вібродозатора.

3. Розробити конструкцію дозатора мікродобавок, обґрунтувати його конструктивно-кінематичну схему та визначити раціональні параметри роботи.

4. Виконати розрахунки міцності та жорсткості основних елементів дозатора мікродобавок і оцінити ефективність запропонованого технічного рішення.

**Об'єкт дослідження:** процес дозування та внесення мікродобавок у кормові суміші для свиней у системах механізованого кормоприготування.

**Предмет дослідження:** конструктивні та кінематичні параметри дозатора мікродобавок, а також закономірності процесу дозування мікродобавок у складі кормових сумішей для свиней.

**Методи дослідження:** у роботі використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, нормативної документації та сучасних технологій годівлі тварин. Застосовано розрахункові методи для визначення продуктивності дозатора та параметрів його роботи. Аналітичними методами оцінено вплив конструктивних і технологічних факторів на точність дозування. Для оцінки ефективності запропонованої конструкції використано порівняльний аналіз та графічні методи обробки результатів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати роботи дозволяють підвищити ефективність системи годівлі свиней, забезпечити точне дозування мікродобавок, зменшити втрати компонентів і витрати кормів, покращити якість кормових сумішей та підвищити продуктивність тварин. Запропонована конструкція дозатора може бути використана у фермерських господарствах і на свинокомплексах для автоматизації процесів приготування кормів.

**Ключові слова:** система годівлі, свинарство, дозатор мікродобавок, мікродозатор, сипкі компоненти, порошкоподібні компоненти, кормові добавки, точність дозування, продуктивність, автоматизація.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 МІКРОДОБАВКИ У ТВАРИННИЦТВІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВНЕСЕННЯ</b> .....	9
1.1. Мікродобавки у тваринництві .....	9
1.2. Класифікація мікродобавок і їх функціональне призначення .....	14
1.3. Підбір мікродобавок за фазами відгодівлі свиней.....	19
1.4. Механізми внесення мікродобавок .....	22
<b>2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ КОРМІВ І МІКРОДОБАВОК</b> .....	36
2.1. Вибір механізмів подачі кормів та мікродобавок до змішувача кормів .....	36
2.2. Розрахунок параметрів шнекового транспортера .....	37
2.3. Розрахунок геометричних та кінематичних параметрів вихідного отвору вібродозатора.....	41
<b>3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ДОЗАТОРА МІКРОДОБАВОК</b> ..	44
3.1. Вибір конструктивної та кінематичної схеми дозатора мікродобавок .....	44
3.2. Аналітичне обґрунтування кінематичних параметрів пульсатора.....	48
3.3. Розрахунок міцності та жорсткості вала вібраційного дозатора.....	52
3.4. Розрахунок вала на жорсткість .....	55
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b> .....	58
4.1 Аналіз умов праці при експлуатації системи годівлі свиней та дозатора мікродобавок.....	58
4.2 Заходи безпеки під час експлуатації дозатора мікродобавок.....	59
4.3 Санітарно-гігієнічні умови праці у свинарських приміщеннях .....	60
4.4 Пожежна безпека та заходи щодо попередження аварійних ситуацій.....	60
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	62
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	63
<b>ДОДАТКИ</b> .....	67

## ВСТУП

Свинарство є однією з провідних і найбільш технологічно розвинених галузей тваринництва, ефективність якої значною мірою залежить від рівня організації годівлі тварин. У структурі собівартості продукції свинарства витрати на корми становлять понад 60-70 %, що зумовлює необхідність раціонального використання кормових ресурсів і підвищення точності дозування компонентів комбікормів як одного з ключових напрямів підвищення економічної ефективності виробництва [12].

Сучасні технології годівлі свиней передбачають використання повнораціонних комбікормів, до складу яких входять мінеральні, вітамінні, білкові та ферментні мікродобавки. Незважаючи на незначну частку у загальній масі корму, ці компоненти мають суттєвий вплив на фізіологічний стан тварин, інтенсивність росту, конверсію корму та рівень продуктивності. Недотримання точності дозування мікродобавок призводить до порушення балансу поживних речовин у раціоні, перевитрати дорогих компонентів, зниження якості кормових сумішей і, як наслідок, зменшення ефективності виробництва.

Однією з ключових проблем технологічних ліній приготування комбікормів є забезпечення стабільного та рівномірного дозування сипких і порошкоподібних компонентів, які характеризуються складними фізико-механічними властивостями: неоднорідністю гранулометричного складу, схильністю до злежування, зависання та нерівномірного висипання. Традиційні дозувальні пристрої не завжди забезпечують необхідну точність подачі, особливо при малих нормах внесення мікрокомпонентів [13].

У зв'язку з цим актуальним завданням є вдосконалення конструкцій дозувального обладнання, здатного забезпечити високоточне безперервне дозування кормових мікродобавок. Перспективним напрямом є застосування стрічкових мікродозаторів, принцип дії яких ґрунтується на регульованому транспортуванні шару матеріалу за допомогою стрічкового робочого органу. Такі дозатори характеризуються простотою конструкції, можливістю плавного

регулювання продуктивності, стабільністю подачі матеріалу та високим потенціалом для автоматизації технологічного процесу.

Підвищення ефективності системи годівлі свиней шляхом розробки та обґрунтування параметрів дозатора мікродобавок має важливе практичне значення, оскільки дозволяє підвищити точність формування кормових сумішей, знизити втрати компонентів, покращити рівномірність змішування та оптимізувати процеси кормоприготування. Впровадження сучасних дозувальних систем сприяє підвищенню продуктивності тварин, зменшенню собівартості продукції та покращенню техніко-економічних показників.

# 1 МІКРОДОБАВКИ У ТВАРИННИЦТВІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВНЕСЕННЯ

## 1.1. Мікродобавки у тваринництві

Мікродобавки – це кормові або біологічно активні речовини, які додають до кормів у дуже малих кількостях для забезпечення нормального росту, розвитку, здоров'я та продуктивності тварин.

Вони містять необхідні організму компоненти, що не завжди у достатній кількості є в основному кормі. До мікродобавок належать вітаміни, мікроелементи, амінокислоти, ферменти, пробіотики, антиоксиданти та інші речовини [23].

Основне призначення мікродобавок полягає: у покращенні засвоєння поживних речовин, стимулюванні росту й розвитку тварин, підвищенні продуктивності, зміцненні імунітету, зниженні витрат кормів та профілактиці захворювань.

Мікродобавки відіграють важливу роль у регуляції обмінних процесів, що безпосередньо впливає на інтенсивність росту та формування м'язової тканини у свиней.

Дослідження свідчать, що оптимізація раціону за рахунок введення мікродобавок сприяє підвищенню середньодобових приростів живої маси у середньому на 8-25 % залежно від складу добавки, вікової групи тварин та умов утримання. Найбільш виражений ефект спостерігається у період інтенсивного росту поросят та відгодівельного молодняку, коли потреба в поживних речовинах значно перевищує їх надходження з базових кормів [24].

Механізм впливу мікродобавок полягає у покращенні засвоюваності поживних речовин у шлунково-кишковому тракті, стабілізації мікрофлори кишечника, активації ферментативних систем та оптимізації білкового, жирового й вуглеводного обміну. Зокрема, ферментні препарати підвищують ступінь гідролізу складних вуглеводів і білків, що сприяє більш ефективному

використанню енергії корму. Пробиотики та пребіотики нормалізують мікробіоценоз кишечника, знижуючи ризик розвитку дисбактеріозів і підвищуючи загальну резистентність організму [14].

Окрему увагу слід приділяти мінерально-вітамінним комплексам, дефіцит яких у раціонах свиней часто обмежує реалізацію генетичного потенціалу росту. Наприклад, нестача цинку, селену, вітамінів групи В та вітаміну Е призводить до уповільнення метаболічних процесів, зниження апетиту та погіршення конверсії корму. Включення збалансованих мікродобавок дозволяє усунути ці обмеження та забезпечити більш рівномірний і стабільний приріст живої маси.

Важливим показником ефективності використання мікродобавок є коефіцієнт конверсії корму, який зазвичай знижується на 5-15 %, що свідчить про більш раціональне використання кормових ресурсів. Це має не лише біологічне, але й економічне значення, оскільки дозволяє зменшити собівартість виробництва свинини.

У практиці їх реалізують через вітамінно-мінеральні суміші, спеціальні добавки та технологічні мікрокомпоненти (антиоксиданти, протигрибкові сорбенти, консерванти) [24].

Основний ефект мікродобавок проявляється через активацію ферментативних систем організму. Мікроелементи (цинк, мідь, селен, залізо) беруть участь у синтезі ферментів та гормонів, що регулюють білковий, жировий і вуглеводний обміни. За рахунок цього підвищується коефіцієнт перетравності корму та зменшуються непродуктивні втрати енергії.

Вітамінні компоненти сприяють нормалізації ростових процесів, розвитку м'язової тканини та зміцненню імунного статусу тварин. У результаті знижується рівень стресових реакцій, що безпосередньо позитивно впливає на середньодобові прирости живої маси.

Вітамін А є критично важливим для нормального росту епітеліальних тканин, регуляції процесів клітинної диференціації та підтримання репродуктивної функції. У свиней він безпосередньо впливає на стан слизових

оболонок дихальної та травної систем, що підвищує бар'єрну функцію організму проти інфекційних агентів. Достатній рівень ретинолу сприяє активізації ростових процесів, покращенню апетиту та ефективнішому засвоєнню поживних речовин. Дефіцит вітаміну А призводить до затримки росту, зниження імунної відповіді та підвищеної сприйнятливості до захворювань, що негативно впливає на приріст живої маси [23].

Вітамін D відіграє ключову роль у регуляції кальцій-фосфорного обміну, що є основою формування кісткової тканини. У свиней він забезпечує нормальний розвиток скелета, запобігає рахіту у молодняку та сприяє правильному формуванню опорно-рухового апарату. Оптимальний рівень вітаміну D підвищує ефективність використання мінералів корму, що опосередковано впливає на швидкість росту та збільшення живої маси. Його дефіцит призводить до деформацій кісток, зниження рухової активності та уповільнення приростів.

Вітамін E є потужним антиоксидантом, який захищає клітинні мембрани від перекисного окиснення ліпідів. У свинарстві він відіграє важливу роль у підтриманні імунного статусу, репродуктивної функції та загальної резистентності організму. Його достатній рівень сприяє зниженню окислювального стресу, покращенню м'язового метаболізму та підвищенню якості м'ясної продукції. Дефіцит вітаміну E призводить до м'язової дистрофії, ослаблення імунітету та зниження приростів живої маси [9].

Вітаміни групи B беруть участь у регуляції енергетичного обміну, синтезі ферментів та функціонуванні нервової системи. Вони є коферментами численних біохімічних реакцій, що забезпечують перетворення вуглеводів, білків і жирів на енергію. У свиней достатнє забезпечення вітамінами групи B сприяє підвищенню апетиту, поліпшенню травлення та ефективнішому використанню корму. Зокрема, вітамін B12 і фолієва кислота стимулюють кровотворення, що покращує транспорт кисню до тканин і прискорює ріст м'язової маси. Дефіцит цих вітамінів призводить до анемії, зниження активності та уповільнення приростів.

Важливим є рівномірний розподіл мікродобавок у кормовій масі. Недостатня якість змішування призводить до нерівномірного споживання активних компонентів і, як наслідок, до нестабільності приростів. Тому конструкція та режим роботи кормозмішувачів мають забезпечувати високу однорідність суміші, особливо при роботі з малими дозами добавок [10].

Раціональний підбір дозування мікродобавок також має принципове значення. Перевищення рекомендованих норм може призводити до антагонізму між окремими елементами та зниження біологічної ефективності корму.

Мікродобавки корму є ефективним інструментом регулювання росту та відгодівельних показників свиней. Їх використання забезпечує підвищення живої маси тварин за рахунок покращення засвоюваності поживних речовин, активізації обмінних процесів і зниження кормових витрат. За умови правильного інженерного забезпечення процесів приготування та згодовування кормів, мікродобавки дозволяють досягти стабільних і прогнозованих приростів живої маси, що є важливою передумовою підвищення ефективності сучасних свинокомплексів [23].

Механізми внесення мікродобавок у годівлі тварин являють собою сукупність технічних засобів і технологічних операцій, призначених для точного дозування та рівномірного введення біологічно активних речовин у кормові суміші. Оскільки мікродобавки використовуються у дуже малих кількостях, їх ефективність значною мірою залежить від якості змішування та точності дозування.

У технологічному процесі приготування комбікормів внесення мікродобавок є одним із найбільш відповідальних етапів, адже навіть незначні відхилення у дозуванні можуть призвести до порушення балансу раціону та зниження продуктивності тварин.

## 1.2. Класифікація мікродобавок і їх функціональне призначення

Мікродобавки класифікують за їх походженням, хімічним складом та функціональним призначенням.

Макро- та мікроелементи (Ca, P, Na, Zn, Cu, Mn, Fe, I, Se) відіграють комплексну та взаємопов'язану роль у забезпеченні нормального фізіологічного стану організму свиней, впливаючи на ріст, розвиток, обмін речовин і продуктивність.

Кальцій (Ca) і фосфор (P) є основними структурними елементами кісткової тканини та забезпечують її міцність і правильне формування скелета. Їх збалансоване співвідношення є критично важливим для мінералізації кісток, скорочення м'язів та нормального перебігу нервових імпульсів. Порушення Ca-P балансу призводить до остеодистрофічних змін, затримки росту та зниження загальної продуктивності тварин [24].

Натрій (Na), разом з іншими електролітами, регулює водно-сольовий баланс, осмотичний тиск та кислотно-лужну рівновагу організму. Він також стимулює споживання води та корму, що безпосередньо впливає на інтенсивність росту та середньодобові прирости живої маси.

Мікроелементи цинк (Zn), мідь (Cu) і марганець (Mn) виконують переважно ферментативну та структурну функції. Вони беруть участь у роботі численних ферментних систем, регулюють синтез білка, процеси клітинного поділу та регенерації тканин. Zn і Mn особливо важливі для формування шкіри, копит і сполучної тканини, тоді як Cu є необхідною ланкою у кровотворенні та обміні заліза. Їх дефіцит призводить до дерматологічних порушень, анемій та зниження імунної резистентності.

Залізо (Fe) є ключовим елементом гемоглобіну та міоглобіну, забезпечуючи транспорт кисню до тканин і ефективність клітинного дихання. Його недостатність у поросят часто спричиняє анемію, слабкість та суттєве уповільнення росту [23].

Селен (Se) є важливим компонентом антиоксидантної системи організму, оскільки входить до складу ферменту глутатіонпероксидази. Він захищає клітини від оксидативного стресу, підвищує імунну відповідь та покращує загальну резистентність організму, особливо у поєднанні з вітаміном Е.

Таким чином, макро- і мікроелементи утворюють єдину функціональну систему регуляції обміну речовин у свиней. Їх збалансоване надходження забезпечує нормальний ріст, ефективне використання кормів, міцний імунітет та високі середньодобові прирости живої маси, тоді як дефіцит або дисбаланс окремих елементів призводить до суттєвого зниження продуктивності та погіршення фізіологічного стану тварин [27].

Ключова технологічна вимога: забезпечити однорідність мікророзподілу в партії корму. Нерівномірне змішування дає «перевнесення» в одних тварин і дефіцит в інших, що проявляється як розкид приростів та проблеми з кінцівками/шкірою.

Амінокислотні мікродобавки, до яких належать лізин, метіонін, треонін, триптофан та валін, є ключовим інструментом точного балансування протеїнового живлення свиней відповідно до їх фізіологічних потреб у різні фази росту та відгодівлі. Їх застосування ґрунтується на принципі лімітуючих амінокислот, згідно з яким продуктивність тварин визначається рівнем тієї незамінної амінокислоти, яка знаходиться в найменшій кількості відносно потреб організму [23].

Лізин є основною ростовою амінокислотою у свинарстві, оскільки безпосередньо визначає інтенсивність синтезу м'язового протеїну. Його достатній рівень у раціоні забезпечує ефективне нарощування м'язової маси та підвищення середньодобових приростів. Метіонін виконує важливу метаболічну функцію як донор метильних груп, бере участь у синтезі білків, ліпідному обміні та антиоксидантному захисті організму. Треонін є критично важливим для синтезу білків слизових оболонок кишечника, що безпосередньо впливає на стан травної системи та ефективність засвоєння поживних речовин.

Триптофан виконує регуляторну функцію, оскільки є попередником серотоніну, впливаючи на апетит, поведінкові реакції та загальний фізіологічний стан тварин. Валін, як одна з розгалужених амінокислот, бере участь у енергетичному обміні м'язової тканини та підтримує процеси відновлення під час інтенсивного росту.

Використання синтетичних амінокислот дозволяє оптимізувати білкову структуру раціону шляхом зниження надлишкового введення сирого протеїну, зокрема за рахунок дорогих білкових компонентів, таких як соєвий шрот. Це забезпечує «точне протеїнове налаштування» раціону, коли тварина отримує не надлишок протеїну, а саме збалансований профіль незамінних амінокислот відповідно до потреб росту [23].

Практичним результатом такої оптимізації є підвищення ефективності конверсії корму, більш стабільні та прогнозовані середньодобові прирости живої маси, а також зменшення втрат азоту з гноєм. Останнє має важливе екологічне значення, оскільки знижує азотне навантаження на навколишнє середовище та підвищує екологічну безпечність виробництва свинини.

Ферментні мікродобавки (фітаза, ксиланаза,  $\beta$ -глюканаза та інші) є важливим елементом сучасних технологій годівлі свиней, оскільки забезпечують біокаталітичне підвищення ефективності використання поживних речовин корму та зниження впливу антиживильних факторів рослинної сировини.

Фітаза відіграє ключову роль у гідролізі фітинової кислоти (фітатів), яка є основною формою зв'язаного фосфору в зернових і олійних культурах. У природному стані фосфор із фітатів практично недоступний для моногастричних тварин, зокрема свиней. Введення фітази до раціону забезпечує вивільнення неорганічного фосфору, підвищує його біодоступність та покращує мінеральний обмін. Це дозволяє зменшити використання дорогих мінеральних фосфатів у комбікормах і одночасно знизити екскрецію фосфору з гноєм, що має суттєве екологічне значення [28].

Ксиланаза спрямована на руйнування некрахмальних полісахаридів (зокрема арабіноксиланів), які входять до складу клітинних стінок зернових культур. Їх наявність підвищує в'язкість хімусу в кишечнику, ускладнює дію ендогенних ферментів і знижує засвоєння поживних речовин. Додавання ксиланази зменшує в'язкість кишкового вмісту, покращує дифузію поживних речовин і підвищує загальну перетравність корму.

$\beta$ -глюканаза каталізує розщеплення  $\beta$ -глюканів, які також належать до антиживильних компонентів зернових, особливо ячменю та вівса. Їх надлишок у раціоні призводить до підвищення в'язкості кишкового вмісту, уповільнення пасажу корму та зниження ефективності травлення. Використання  $\beta$ -глюканази сприяє нормалізації фізико-хімічних властивостей хімусу та підвищенню доступності енергії корму.

Ферментні препарати забезпечують підвищення доступності поживних речовин зернової частини раціону, покращення перетравності протеїну, крохмалю та клітковини, а також зменшення негативного впливу антиживильних факторів. Їх застосування дозволяє підвищити ефективність використання кормів, стабілізувати прирости живої маси та знизити витрати на кормові компоненти [23].

Пробіотики, пребіотики, синбіотики та органічні кислоти є функціональними кормовими добавками, які регулюють мікробіоценоз шлунково-кишкового тракту свиней і виступають важливим фактором підвищення ефективності годівлі та продуктивності тварин.

Пробіотики (штами молочнокислих бактерій та інших корисних мікроорганізмів) здійснюють біологічну стабілізацію кишкової мікрофлори шляхом конкурентного витіснення умовно-патогенних і патогенних бактерій, синтезу антимікробних метаболітів та зниження рН середовища. Це сприяє нормалізації процесів травлення, зменшенню частоти ентеричних розладів та підвищенню засвоєння поживних речовин корму.

Пребіотики (неперетравлювані оліго- та полісахариди) виконують селективну трофічну функцію щодо корисної мікрофлори кишечника,

стимулюючи її ріст і метаболічну активність. У результаті посилюється синтез коротколанцюгових жирних кислот, які є важливим енергетичним субстратом для ентероцитів та забезпечують підтримку цілісності слизової оболонки кишечника [24].

Синбіотики, як комбінація пробіотичних культур і пребіотичних субстратів, забезпечують синергічний ефект, що проявляється у більш стійкому формуванні стабільної мікробіоти та підвищенні її функціональної активності. Це особливо важливо у критичні періоди онтогенезу свиней, коли мікробіологічна рівновага кишечника є нестабільною.

Органічні кислоти (мурашина, молочна, пропіонова та інші) виконують багатофункціональну роль: знижують рН кормової маси та вмісту шлунково-кишкового тракту, пригнічують розвиток патогенних мікроорганізмів і підвищують активність ендогенних травних ферментів. Додатково вони виконують консервувальну функцію, запобігаючи мікробіологічному псуванню кормів під час зберігання.

Антиоксиданти, консерванти, протигрибкові компоненти та сорбенти мікотоксинів формують єдиний технологічний блок кормових добавок, спрямований на забезпечення стабільності кормової сировини, збереження її поживної цінності та мінімізацію токсикологічних ризиків для організму свиней.

Антиоксиданти виконують ключову роль у гальмуванні реакцій перекисного окиснення ліпідів, які особливо інтенсивно відбуваються в жирах та жиророзчинних вітамінних (А, D, Е). Інгібування утворення вільних радикалів і гідроперекисів дозволяє зберігати структурну та енергетичну цілісність корму, а також запобігає руйнуванню біологічно активних сполук, що безпосередньо впливає на метаболічну стабільність і продуктивність тварин [11;24].

Консерванти, переважно на основі органічних кислот та їх солей, забезпечують довготривалу стабілізацію кормової маси шляхом зниження рН і пригнічення розвитку бактеріальної та грибової мікрофлори. Це уповільнює

мікробіологічні та ферментативні процеси псування, зберігаючи енергетичну та поживну цінність кормів у період зберігання і транспортування.

Протигрибкові компоненти діють на етапі попередження розвитку мікроскопічних пліснявих грибів, які є основними продуцентами мікотоксинів у зерновій сировині. Їх застосування знижує біологічне навантаження на кормову масу та мінімізує ризик накопичення токсичних метаболітів, що мають кумулятивну дію на печінку, імунну та репродуктивну системи свиней.

Сорбенти мікотоксинів забезпечують постадсорбційний захист організму тварин, зв'язуючи токсичні сполуки у просвіті шлунково-кишкового тракту та перешкоджаючи їх системному всмоктуванню. До них належать природні та модифіковані алюмосилікати, цеоліти, бентоніти, а також органічні сорбенти на основі клітинних стінок дріжджів, які забезпечують широкий спектр зв'язування мікотоксинів різної хімічної природи [23].

Таким чином, зазначені групи добавок функціонують як інтегрована система кормової безпеки: антиоксиданти зберігають хімічну стабільність поживних речовин, консерванти та протигрибкові агенти запобігають мікробіологічній деградації корму, а сорбенти мікотоксинів забезпечують фізіологічний захист організму тварин. У сукупності це дозволяє підтримувати стабільність обмінних процесів, підвищувати ефективність використання кормів і зменшувати продуктивні та економічні втрати у свинарстві.

### **1.3. Підбір мікродобавок за фазами відгодівлі свиней**

Підбір мікродобавок у годівлі свиней доцільно здійснювати диференційовано відповідно до фаз відгодівлі, оскільки фізіологічні потреби організму, інтенсивність ростових процесів та метаболічне навантаження істотно змінюються. Такий підхід забезпечує більш ефективну реалізацію

генетичного потенціалу тварин, стабілізацію обмінних процесів і підвищення економічної ефективності виробництва.

На початковій стадії відгодівлі (дорощування, 25-40 кг живої маси) основним завданням є адаптація травної системи після відлучення та формування стабільного фізіологічного статусу тварин. У цей період мікробіоценоз кишечника є нестабільним, а імунна система – недостатньо сформованою, що підвищує ризик розладів травлення. Тому пріоритетними є пробіотики, пребіотики та органічні кислоти для стабілізації мікрофлори та зниження патогенного навантаження. Одночасно необхідне точне балансування амінокислотного складу раціону (лізин, метіонін, треонін, триптофан), що забезпечує старт інтенсивного росту м'язової тканини. Важливу роль відіграють цинк, селен і вітамін Е як фактори підтримки імунітету та зниження стресового навантаження, а також сорбенти мікотоксинів для захисту організму від токсичних домішок корму [9].

На середній стадії відгодівлі (40-80 кг живої маси) спостерігається найвища інтенсивність росту та максимальна ефективність використання поживних речовин. Основною метою є оптимізація перетравності корму та підвищення конверсії. У цей період ключову роль відіграють ферментні препарати (фітаза, ксиланаза,  $\beta$ -глюканаза), які підвищують доступність поживних речовин зернової частини раціону та знижують вплив антиживильних факторів. Амінокислотні добавки забезпечують точне балансування протеїнового живлення і дозволяють зменшити рівень сирого протеїну без втрати приростів. Мінеральні добавки підтримують Са-Р баланс і інтенсивний ріст кістково-м'язової системи, а антиоксиданти захищають ліпіди та вітаміни від окиснення, особливо при використанні енергетично насичених раціонів [10].

На завершальній стадії відгодівлі (80-110/120 кг живої маси) інтенсивність приростів знижується, а основний акцент зміщується на економічну ефективність та якість м'ясної продукції. У цей період здійснюється корекція амінокислотного та мінерального профілю раціону з

метою оптимізації співвідношення м'язової і жирової тканини та підвищення якості туші. Важливим є підтримання стабільної конверсії корму без надлишкового протеїнового навантаження. Для збереження якості кормів при тривалому зберіганні великих партій застосовують антиоксиданти, консерванти та протигрибкові компоненти, а сорбенти мікотоксинів виконують роль «страхового» елемента при можливих коливаннях якості зернової сировини [13].

Таким чином, фазовий підхід до використання мікродобавок забезпечує адаптацію годівлі до фізіологічних потреб свиней на кожному етапі відгодівлі: на початковому етапі – стабілізацію травлення та імунітету, на середньому – максимізацію ростової ефективності, на завершальному – економічну оптимізацію та покращення якості продукції. У сукупності це дозволяє підвищити продуктивність тварин, покращити конверсію корму та забезпечити стабільні виробничі показники.

Для забезпечення прогнозованого позитивного впливу мікродобавок на фізіологічний стан, ріст і продуктивність свиней необхідно дотримуватись технологічно обґрунтованих вимог до їх дозування, змішування та зберігання, оскільки навіть незначні порушення на цих етапах можуть суттєво знижувати ефективність раціону.

Точність дозування є основною умовою ефективного використання мікродобавок. Оскільки вітаміни, мінеральні речовини, амінокислоти та біологічно активні компоненти вводяться у раціон у дуже малих кількостях, будь-які відхилення від рецептури призводять до дисбалансу поживних речовин і нерівномірного їх надходження до організму тварин. Використання високоточних вагових систем і дозаторів забезпечує відтворюваність рецептури, а регулярне калібрування обладнання з урахуванням сипучості та гранулометричного складу компонентів дозволяє мінімізувати технологічні похибки.

Ефективність змішування визначається рівномірністю розподілу мікродобавок у загальній масі корму. Для досягнення однорідності

застосовується попереднє змішування мікрокомпонентів із носієм, як-от зернова дерть або висівки, що забезпечує поступове вирівнювання концентрації активних речовин. Важливе значення має дотримання оптимального часу змішування, оскільки недостатня тривалість процесу не забезпечує однорідності, а надмірна може спричинити сегрегацію частинок. Стан змішувального обладнання також має критичне значення, оскільки зношені або неправильно налаштовані робочі органи знижують якість гомогенізації кормової суміші [15;23].

Збереження біологічної активності мікродобавок є важливим етапом, що визначає їх кінцеву ефективність. Більшість вітамінів, ферментів, пробіотиків та інших біологічно активних речовин є чутливими до впливу температури, вологості, світла та кисню. У зв'язку з цим кормові добавки повинні зберігатися в умовах контрольованого мікроклімату з низькою вологістю та захистом від прямих сонячних променів. Особливу увагу слід приділяти технологічним процесам, пов'язаним із термічною обробкою кормів, оскільки перегрів під час грануляції може призводити до зниження активності термолабільних компонентів. Важливим також є дотримання строків використання відкритих пакувань, оскільки тривалий контакт із повітрям і вологою сприяє поступовій деградації активних речовин.

#### **1.4. Механізми внесення мікродобавок**

Мікродозатори є важливими елементами технологічного обладнання у сучасному тваринництві, що забезпечують точне дозування біологічно активних компонентів кормових сумішей у надмалих кількостях. Їх застосування зумовлене необхідністю введення у раціони тварин вітамінів, мінеральних речовин, амінокислот, ферментів та інших мікродобавок, які мають високу фізіологічну активність навіть при мінімальних дозах.

Використання мікродозаторів дозволяє досягти рівномірного розподілу цих компонентів у загальній масі корму, що є критично важливим для забезпечення стабільності годівлі та прогнозованості продуктивних показників [7].

У сучасних умовах інтенсифікації тваринництва мікродозатори розглядаються як невід'ємна складова систем точного годівлі, оскільки вони забезпечують зниження втрат кормових ресурсів, підвищення ефективності використання добавок та мінімізацію технологічних похибок. Їх класифікація здійснюється залежно від принципу дії, конструктивних особливостей та ступеня автоматизації, що дозволяє підбирати оптимальні рішення для різних виробничих умов [8].

Мікродозування на тваринницьких фермах потрібне для: введення преміксів, вітамінно-мінеральних добавок, ферментів, пробіотиків, кислот, сорбентів; дозування солей, мікроелементів та лікувально-профілактичних добавок (у межах дозволених технологічних регламентів); подавання рідких компонентів: меласи, олій, органічних кислот, ароматизаторів; стабілізації рецептури та мінімізації перевитрат дорогих інгредієнтів; забезпечення повторюваності партій і зниження варіабельності продуктивності стада.

Мікродозатори у тваринництві повинні відповідати ряду технологічних вимог, оскільки від точності їх роботи безпосередньо залежить рівномірність введення біологічно активних речовин у кормові суміші та стабільність годівлі тварин. Основними вимогами є мала похибка дозування, що забезпечує точне відтворення рецептури комбікормів навіть при використанні надмалих доз компонентів; стабільність подачі, яка гарантує рівномірне надходження продукту без пульсацій і перебоїв; сумісність із системами автоматизації кормовиробництва, що дозволяє інтегрувати мікродозатори у сучасні технологічні лінії; а також простота санітарної обробки, яка є необхідною умовою дотримання ветеринарно-гігієнічних норм і запобігання перехресному забрудненню компонентів [8;13].

Класифікація мікродозаторів у тваринництві найчастіше здійснюється за агрегатним станом дозованого продукту, оскільки фізико-механічні властивості

матеріалу суттєво впливають на конструкцію та принцип роботи обладнання. Відповідно до цього підходу виділяють мікродозатори для сипких і порошкоподібних компонентів, а також для рідких і пастоподібних добавок.

Мікродозатори для сипких і порошкоподібних компонентів призначені для дозування вітамінних преміксів, мінеральних сумішей, амінокислотних добавок та інших дрібнодисперсних матеріалів. Їх конструкція забезпечує рівномірне подавання продукту шляхом використання шнекових, дискових або вібраційних механізмів, що дозволяє точно регулювати продуктивність і підтримувати стабільність дозування навіть при зміні сипучих властивостей матеріалу [8;13].

Шнекові мікродозатори (див.рис.1.1) належать до найбільш поширених пристроїв дозування сипких і порошкоподібних кормових компонентів у тваринництві, що зумовлено їх конструктивною простотою, технологічністю та відносно високою точністю подачі в широкому діапазоні продуктивності. Принцип їх роботи базується на транспортуванні матеріалу гвинтовим (шнековим) робочим органом, що забезпечує контрольоване переміщення та дозування продукту відповідно до частоти обертання та геометричних параметрів шнека [4;5].

До основних переваг шнекових дозаторів відноситься проста конструкція, що забезпечує надійність експлуатації та відносно низькі витрати на обслуговування. Завдяки можливості варіації діаметра шнека, кроку витка та частоти обертання, такі дозатори забезпечують широкий діапазон регулювання подачі матеріалу, що дозволяє адаптувати їх до різних технологічних режимів. Крім того, вони добре інтегруються у сучасні системи автоматизованого дозування, зокрема у вагові системи типу loss-in-weight, де забезпечується висока точність підтримання заданої витрати за рахунок безперервного контролю маси бункера [5].

Разом із тим, шнекові мікродозатори мають ряд конструктивно-технологічних обмежень. Їх ефективність значно знижується при роботі з гігроскопічними або схильними до злежування матеріалами, оскільки можливе

утворення склепінь у бункері та порушення рівномірності подачі. При роботі в режимах дуже малих витрат спостерігаються пульсації потоку, що знижує точність дозування і ускладнює стабільне підтримання рецептури. Додатковим обмеженням є зношування робочих органів при використанні абразивних порошків, що призводить до поступової втрати геометричної точності шнека та втулок і, відповідно, зниження стабільності дозування [4].

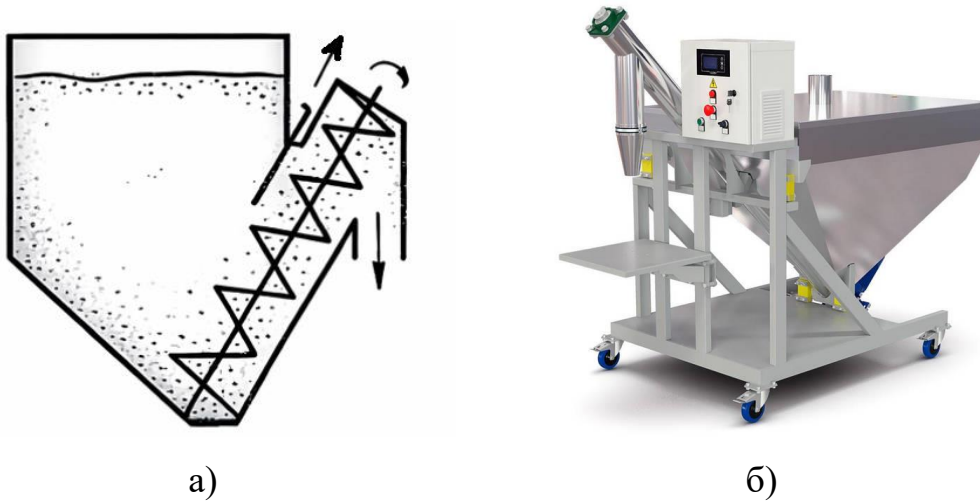
Типовими сферами застосування шнекових мікродозаторів є дозування преміксів, мінеральних добавок, соляних і содових компонентів, а також інших дрібнодисперсних порошкоподібних речовин, що входять до складу комбікормів. Їх використання є найбільш ефективним у випадках, коли необхідне стабільне дозування відносно однорідних за фізико-механічними властивостями матеріалів [18].

Вібраційні мікродозатори (рис.1.2) відносяться до класу дозувальних пристроїв, у яких переміщення матеріалу здійснюється за рахунок механічних коливань робочого органу (лотка). Принцип їх роботи полягає у тому, що сипкий або гранульований продукт під дією спрямованих вібрацій отримує імпульсний рух уздовж нахиленого або горизонтального лотка. За рахунок поєднання інерційних сил та тертя частинок забезпечується контрольоване переміщення матеріалу у напрямку розвантаження.

Регулювання продуктивності вібраційних дозаторів здійснюється зміною амплітуди та частоти коливань, а також геометричних параметрів лотка (кут нахилу, довжина, форма профілю). Такий підхід дозволяє точно налаштувати інтенсивність подачі матеріалу в широкому діапазоні витрат, включаючи мікродозування [25].

До основних переваг вібраційних дозаторів належить м'який характер транспортування, який мінімізує ущільнення продукту та зберігає його фізичну структуру. Відсутність жорсткого механічного захоплення зменшує ризик руйнування гранул, кристалів або інших структурно крихких компонентів. Крім того, такі системи є ефективними для матеріалів із низькою сипкістю або

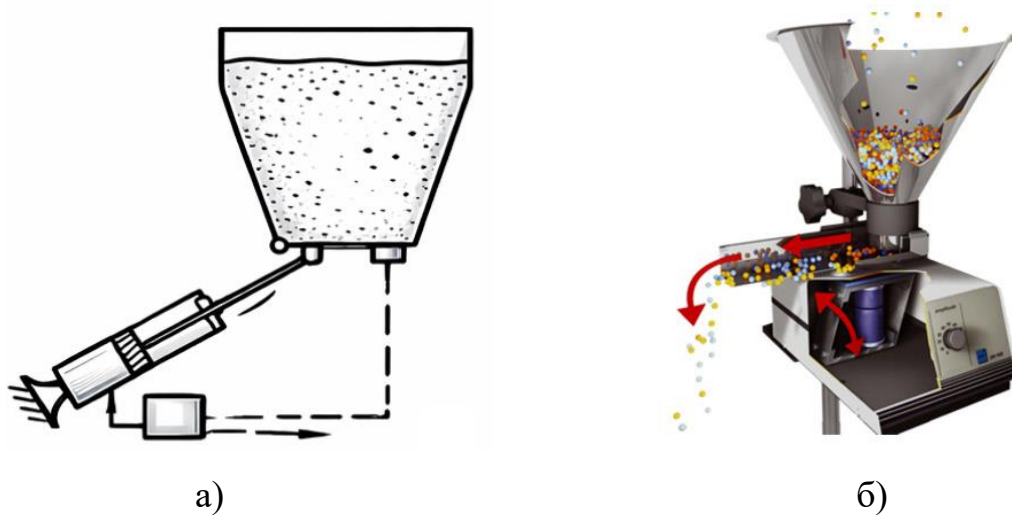
схильністю до злипання, за умови правильно організованого процесу розвантаження та стабільної вібраційної характеристики [22].



а – принципова схема, б – натуральний взірець.  
Рисунок 1.1 – Шнековий дозатор

Разом із тим, вібраційні мікродозатори мають ряд технологічних обмежень. Їх робота є чутливою до змін гранулометричного складу та вологості матеріалу, що може суттєво впливати на стабільність подачі. Вібраційний характер роботи потребує обов'язкового застосування демпфувальних елементів для запобігання передачі коливань на несучі металоконструкції та суміжне обладнання. Крім того, забезпечення герметичності системи ускладнюється через наявність коливальних рухів, що потребує спеціальних конструктивних рішень для мінімізації пилоутворення та втрат продукту.

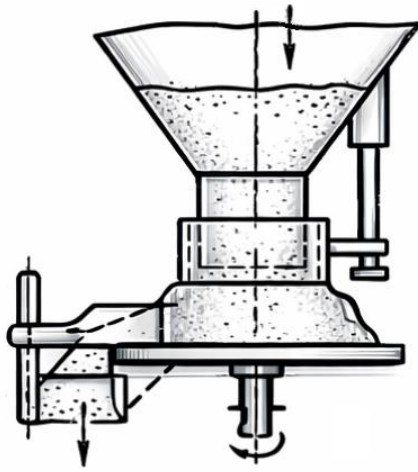
Типовими сферами застосування вібраційних мікродозаторів є дозування кристалічних добавок, дрібногранульованих матеріалів та мікрокомпонентів, схильних до злежування або утворення агломератів. Вони ефективні у технологічних процесах, де необхідне делікатне транспортування з високою точністю дозування та мінімальним механічним впливом на структуру матеріалу.



а – принципова схема, б – натуральний взірець.  
Рисунок 1.2 – Вібраційний дозатор

Дискові мікродозатори (рис.1.3.) належать до об'ємних дозувальних пристроїв безперервної дії, у яких транспортування та відбір матеріалу здійснюється за рахунок обертання диска з робочими елементами (кишенями, ребрами або лопатками). Принцип їх роботи полягає у захопленні шару сипкого продукту з бункера або живильного шару та подальшому його контрольованому скиданні у приймальний патрубок. Кількість поданого матеріалу визначається кінематичними параметрами системи, зокрема швидкістю обертання диска, а також гідродинамічними характеристиками шару продукту, зокрема його висотою та рівномірністю розподілу в зоні відбору [5;13].

До основних переваг дискових мікродозаторів належить відносно стабільний об'ємний характер дозування, що забезпечується конструктивною простотою робочого органу та рівномірністю захоплення матеріалу. Вони характеризуються компактністю конструкції, що особливо важливо при використанні у мікродозувальних системах, де обмежений простір та необхідна інтеграція в автоматизовані кормові лінії. Простота механічної будови також сприяє підвищенню надійності та зниженню експлуатаційних витрат.



а)



б)

а – принципова схема, б – натуральний взірець.

Рисунок 1.3 – Дісковий дозатор

Разом із тим, дискові дозатори мають ряд суттєвих технологічних обмежень. Для забезпечення стабільної роботи необхідна постійна підтримка рівня продукту в зоні відбору, оскільки коливання висоти шару безпосередньо впливають на точність дозування. При роботі з легкими та пилюватими порошками спостерігається підвищене пилоутворення та втрати матеріалу, що потребує обов'язкового використання систем аспірації або герметизації. Крім того, точність дозування таких систем є нижчою порівняно з гравіметричними (ваговими) дозаторами, що обмежує їх застосування у високоточних рецептурних системах [13].

Типовими сферами використання дискових мікродозаторів є дозування відносно однорідних сипких матеріалів у випадках, коли допустима об'ємна точність є достатньою, зокрема у технологічних процесах введення допоміжних компонентів кормів та мікродобавок із помірними вимогами до точності.

Комірчасті (роторні) (рис.1.4) дозатори малої продуктивності належать до об'ємних дозувальних пристроїв періодичної дії, в яких дозування матеріалу здійснюється шляхом дозованого заповнення та подальшого транспортування фіксованих об'ємів у комірках ротора. Принцип їх роботи полягає в обертанні ротора з комірками, які по черзі заповнюються сипким продуктом у верхній зоні завантаження та вивантажуються у нижній зоні під дією гравітації або

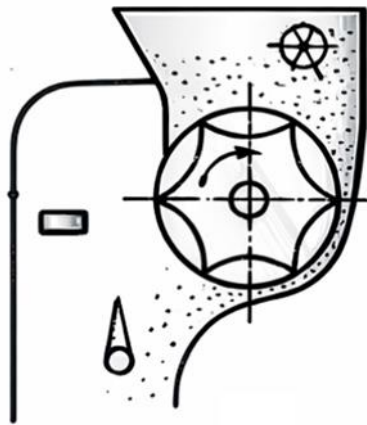
додаткових механічних факторів. У ряді технологічних рішень такі дозатори виконують також функцію шлюзового затвора, що дозволяє запобігати підсосу повітря в системах з аспірацією або пневмотранспортуванням [10].

Перевагою комірчастих дозаторів є висока повторюваність дозованих порцій, що забезпечується геометричною сталістю об'єму комірок та стабільністю кінематичних параметрів ротора. Це дозволяє досягати відносно рівномірної подачі матеріалу навіть за умов змінного навантаження. Додатковою перевагою є можливість ефективної роботи в системах із розрідженням або аспірацією, де дозатор виконує функцію герметизуючого елемента, підтримуючи стабільність повітряних потоків у технологічній лінії.

Водночас такі дозатори мають низку технологічних обмежень. При мікродозуванні необхідне використання ротора з малими комірками високої точності виготовлення, оскільки будь-які відхилення геометрії безпосередньо впливають на точність дозування. Крім того, при роботі з матеріалами, схильними до злежування або грудкування, існує підвищений ризик заклинювання ротора та порушення рівномірності подачі. Це обмежує їх застосування без попередньої підготовки сировини або систем руйнування злежаних мас [13].

Таким чином, комірчасті (роторні) мікродозатори є ефективними у системах, де необхідна стабільна порційна подача та одночасне забезпечення герметизації технологічного процесу, проте потребують високої якості сировини та точної механічної реалізації для забезпечення надійної роботи.

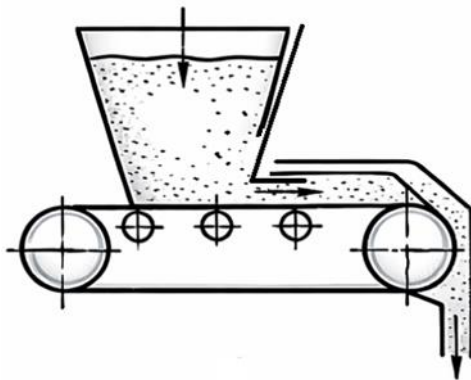
Стрічкові дозатори (рис 1.5.) у тваринництві належать до об'ємних пристроїв безперервної дії, де переміщення та дозування матеріалу здійснюється за допомогою рухомої стрічки, що транспортує шар сипкого продукту з регульованою швидкістю. Кількість поданого матеріалу визначається товщиною шару на стрічці та швидкістю її руху, що дозволяє здійснювати плавне регулювання продуктивності. Основною перевагою таких систем є стабільність безперервної подачі та відносно рівномірний розподіл матеріалу при правильно налаштованому завантаженні.



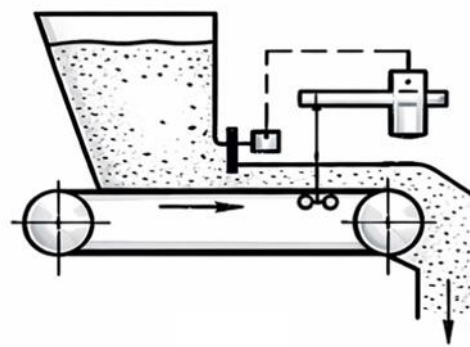
а



б



в



г

а – принципова схема; б – натуральний взірець; в – принципова схема з регулятором подачі; г– принципова схема варіант з вібро-розпушувачем.  
Рисунок 1.4 – Комірчасті мікродозатори

Водночас для мікродозування стрічкові системи застосовуються обмежено через складність забезпечення високої точності при малих витратах, залежність від рівномірності шару продукту та вплив зовнішніх факторів (вологість, адгезія, фракційний склад). Додатковими недоліками є підвищене пилоутворення та необхідність точної системи калібрування витрати [4:10;13].

Перистальтичні насоси-дозатори (рис. 1.6) належать до об'ємних дозувальних систем, призначених для точного введення рідких кормових добавок у технологічні процеси тваринництва. Принцип їх роботи базується на періодичному стисканні еластичного трубопроводу роликми ротора, внаслідок чого утворюється рухома зона тиску, яка переміщує рідину вздовж шланга. Після проходження ролика трубка відновлює форму, створюючи розрідження і

забезпечуючи безперервне засмоктування нового об'єму рідини. Таким чином, рідина контактує лише з внутрішньою поверхнею трубки, що виключає її контакт з механічними частинами насоса [10].

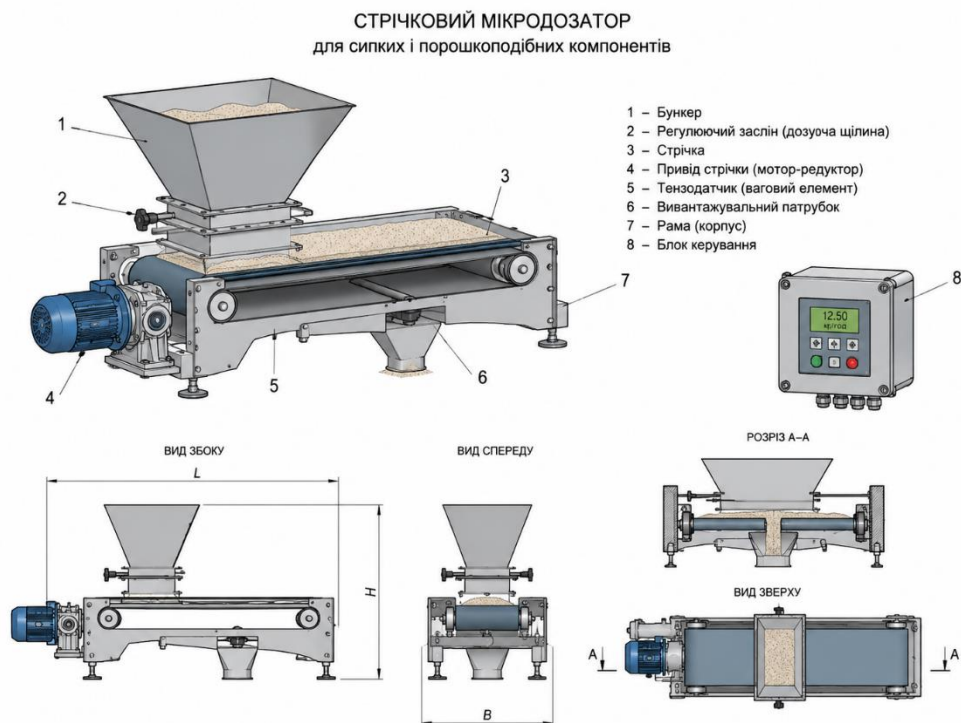


Рисунок 1.5 – Стрічковий мікродозатор

Перевагою перистальтичних насосів є висока точність дозування при малих витратах, що особливо важливо для введення вітамінних розчинів, органічних кислот, ферментів та інших біологічно активних рідких добавок. Важливою конструктивною перевагою є герметичність системи та відсутність зворотного забруднення, оскільки продукт рухається тільки всередині змінного шланга. Це забезпечує високий рівень санітарної безпеки та простоту очищення шляхом заміни трубки. Додатково такі насоси добре працюють із агресивними або корозійно активними рідинами.

Разом із тим, перистальтичні дозатори мають певні обмеження. Основним з них є зношування еластичної трубки, що потребує періодичної заміни та впливає на стабільність довготривалої роботи. Також продуктивність таких насосів залежить від пружних властивостей шланга, що може викликати

незначні пульсації потоку. Крім того, вони менш ефективні при дуже високих витратах у порівнянні з іншими типами насосного обладнання.

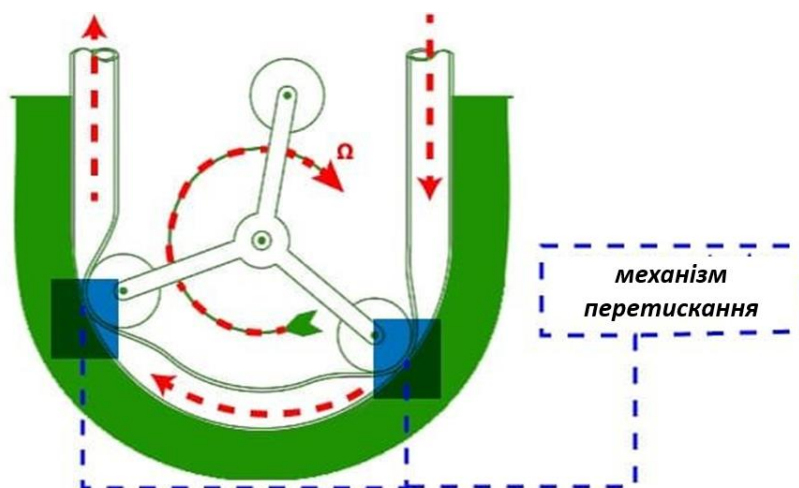


Рисунок 1.6 – Перистальтичні насоси-дозатори.

Мембранні (діафрагмові) (рис. 1.7) дозувальні насоси належать до об'ємних насосів періодичної дії, призначених для високоточного дозування рідких компонентів у технологічних системах тваринництва. Принцип їх роботи базується на зворотно-поступальному переміщенні еластичної мембрани (діафрагми), яка змінює об'єм робочої камери. Під час ходу всмоктування створюється розрідження, внаслідок чого рідина надходить у камеру через впускний клапан, а під час нагнітального ходу – витискається через випускний клапан у напірну магістраль. Таким чином забезпечується дозована подача рідини з високою повторюваністю циклів [13].

Перевагою мембранних насосів є висока точність дозування та стабільність подачі навіть при роботі з агресивними, корозійними або в'язкими рідинами, такими як органічні кислоти, лужні розчини, вітамінні препарати та дезінфікуючі засоби. Завдяки відсутності прямого контакту привідного механізму з робочою рідиною забезпечується висока герметичність системи та мінімальний ризик забруднення. Додатковою перевагою є можливість роботи при змінному тиску в системі та простота інтеграції у автоматизовані дозувальні комплекси.

Разом із тим, мембранні дозувальні насоси мають певні технологічні обмеження. Основним недоліком є пульсаційний характер подачі рідини, що потребує використання демпферів для вирівнювання потоку у високоточних системах. Також можливе обмеження продуктивності при роботі з великими витратами, оскільки ефективність визначається частотою ходів мембрани. Додатково мембрана є зношуваним елементом і потребує періодичної заміни, особливо при роботі з хімічно активними середовищами [10].

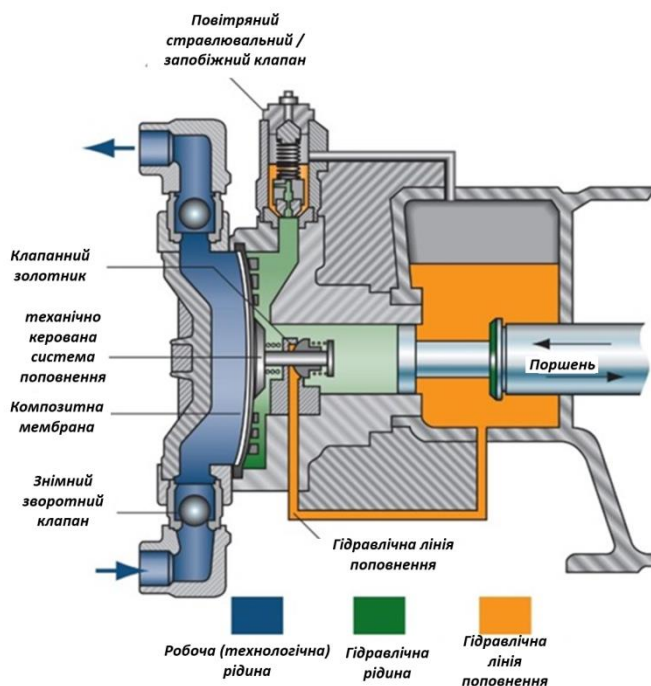


Рисунок 1.7 – Мембранні дозувальний насос

Плунжерні (поршневі) дозувальні насоси належать до об'ємних насосів високої точності, які забезпечують дозоване переміщення рідких компонентів за рахунок зворотно-поступального руху поршня або плунжера в робочій камері. Принцип їх роботи ґрунтується на зміні об'єму герметичної циліндричної камери: під час ходу всмоктування створюється розрідження, що забезпечує надходження рідини через впускний клапан, а під час нагнітального ходу рідина витискається через випускний клапан у дозувальну магістраль. Така схема дозволяє досягати високої точності дозування навіть при малих витратах.

Перевагою плунжерних насосів є дуже висока точність подачі та стабільність дозування, що особливо важливо при введенні в раціони тварин вітамінних концентратів, ферментів, органічних кислот та інших біологічно активних рідких добавок. Вони здатні працювати в широкому діапазоні тисків, забезпечуючи стабільну продуктивність незалежно від протитиску в системі. Конструктивна жорсткість та мінімальні втрати об'єму робочої камери сприяють високій повторюваності доз [9;13].

Разом із тим, такі насоси мають ряд обмежень. Основним недоліком є пульсаційний характер потоку, що потребує встановлення гідравлічних демпферів для вирівнювання подачі у чутливих системах. Крім того, плунжерні насоси є більш вимогливими до якості ущільнень, які з часом зношуються і потребують обслуговування або заміни. Також вони менш ефективні при роботі з абразивними або забрудненими рідинами, оскільки це прискорює знос плунжерної пари.

Шестеренні та гвинтові насоси малої подачі належать до об'ємних насосів безперервної дії, які забезпечують транспортування та дозоване подавання рідких кормових компонентів за рахунок механічного переміщення робочого середовища в замкнених об'ємах. Їх принцип роботи ґрунтується на витісненні рідини внаслідок обертання робочих елементів: у шестеренних насосах – пари зчеплених зубчастих коліс, у гвинтових – одного або декількох гвинтових роторів, що формують безперервні камери перенесення рідини [22].

Вони забезпечують стабільний і відносно рівномірний потік за рахунок постійного об'єму рідини, що переноситься між зубцями шестерень і корпусом насоса. Гвинтові насоси характеризуються ще більш плавною подачею, оскільки переміщення рідини відбувається без значних пульсацій, що є важливою перевагою при дозуванні в'язких компонентів.

Основною сферою застосування таких насосів у тваринництві є транспортування та дозування в'язких кормових добавок, зокрема рослинних олій, меласи, жирових емульсій та інших густих рідин, що використовуються у складі комбікормів. Вони ефективно працюють із середовищами підвищеної

в'язкості, забезпечуючи стабільність подачі та точність у межах заданого технологічного режиму [19;21].

Разом із тим, ці насоси потребують обов'язкової попередньої підготовки робочого середовища. Наявність механічних домішок може призводити до інтенсивного зношування робочих поверхонь, тому необхідна ефективна система фільтрації. Крім того, їх продуктивність і стабільність роботи залежать від в'язкості та температури рідини: при зміні температури можливі коливання витрати, що вимагає термостабілізації або регулювання режимів роботи.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ КОРМІВ І МІКРОДОБАВОК

### 2.1 Вибір механізмів подачі кормів та мікродобавок до змішувача кормів

У сучасних умовах виробництва комбикормів особлива увага приділяється точності введення мікродобавок, оскільки навіть незначні відхилення у дозуванні вітамінів, мінералів, амінокислот чи ферментів можуть суттєво впливати на фізіологічний стан тварин і їх продуктивність. Тому механізми подачі повинні забезпечувати високу точність дозування, стабільність роботи та можливість інтеграції в автоматизовані системи керування технологічним процесом.

Крім точності, важливими критеріями вибору є відповідність обладнання фізико-механічним властивостям компонентів (сипкість, вологість, в'язкість, тощо), а також забезпечення гігієнічності процесу та мінімізації втрат сировини [3;4;5].

Перемішування кормів з мікродобавками проходять в кормозмішувачі (рис.2.1) об'єм якого  $V_{3M} = 3\text{ м}^3$  вага становить:

$$Q_K = V_{3M} \cdot \rho_K \quad (2.1)$$

де  $\rho_K$  – питома вага кормосуміші,  $\rho_K = 900\text{ кг/м}^3$

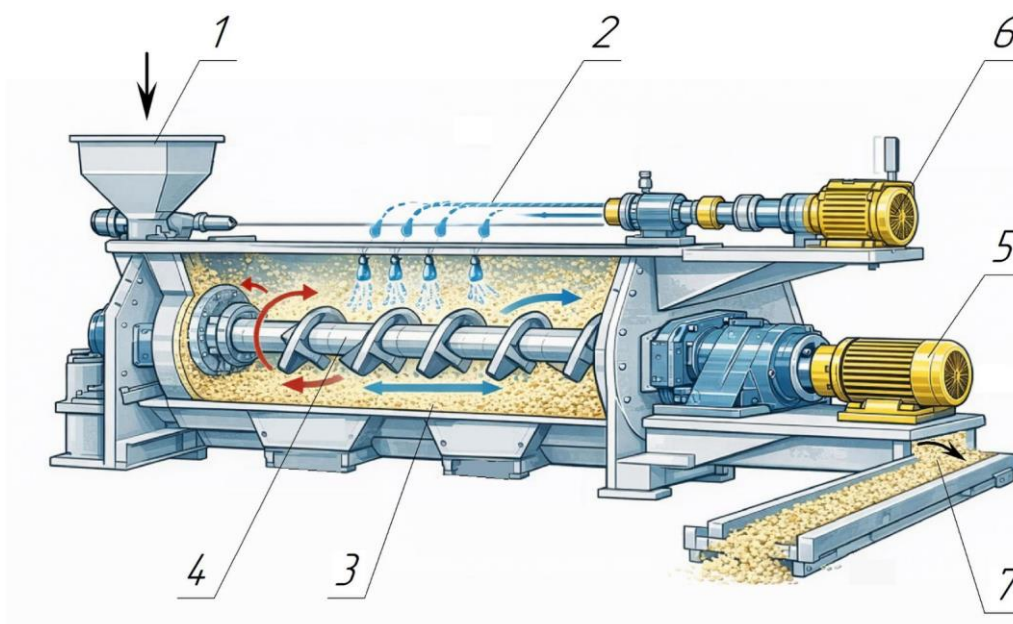
$$Q_K = 3 \cdot 900 = 2700 \text{ кг}$$

Мікродобавки від загальної кількості кормів становить 1 %, тобто вага мікродобавок складає:

$$Q_M = 0,01 \cdot Q_K = 0,01 \cdot 2700 = 27 \text{ кг.}$$

Необхідно синхронізувати роботу механізму подачі кормів в змішувач з роботою мікродозатора, щоб мікроелементи в загальній масі кормів розподілялися рівномірно [3].

Час завантаження компонентів корму та подачу мікродобавок в мішалку, приймаємо  $T=20 \text{ хв.}=0,33 \text{ год.}$



1 – бункер завантаження компонентів корму; 2 – дозатор мікродобавок;  
3 – корпус змішувача; 4 – вал з механізмами перемішування

Рисунок 2.1 – Технологічна схема процесу змішування основних кормів з мікродобавками

Для завантаження змішувача кормів їх компонентами приймаємо наступні механізми: подачу кормів виконує шнековий механізм; подачу мікродобавок – вібродозатор [7].

Проводимо подальші розрахунки вибраних механізмів їх синхронної роботи.

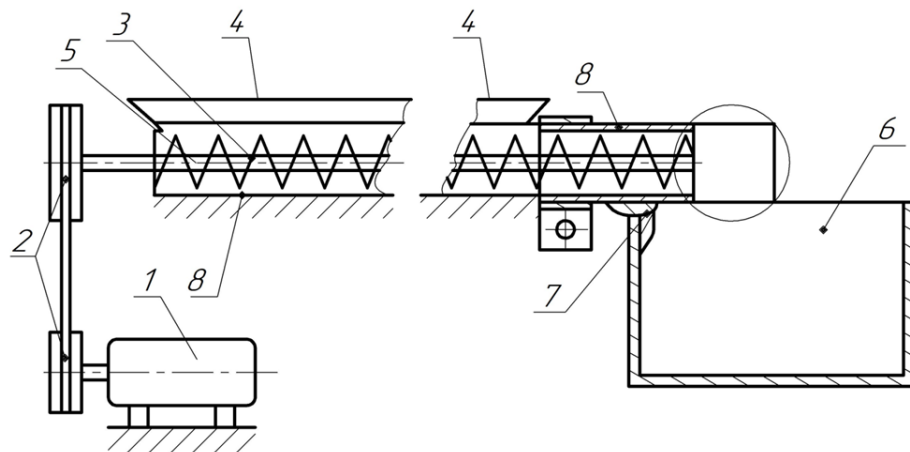
## 2.2 Обґрунтування параметрів шнекового транспортера

Основним виконавчим елементом більшості вантажно-розвантажувальних машин, що використовуються в сільськогосподарському виробництві, є шнекові транспортні механізми. Їхня робота визначається специфікою технологічних процесів, у яких вони задіяні, а також фізико-механічними характеристиками матеріалів, що переміщуються. Сукупність цих факторів впливає на вибір типу шнека, особливості його конструкції та

значення основних геометричних і кінематичних параметрів транспортного механізму. [4;8].

Принципову схему функціонування шнекового транспортера подано на рисунку 2.2. Кормосуміш завантажується в приймальний бункер, у якому розташований вал шнека. Із бункера матеріал надходить на гвинтовий робочий орган – шнек, що встановлений усередині труби по всій довжині транспортера. Під час обертання шнека кормова маса захоплюється його витками та переміщується в осьовому напрямку, забезпечуючи безперервне транспортування матеріалу до місця розвантаження.

Привід шнекового транспортного механізму здійснюється від електродвигуна через систему передач, яка забезпечує необхідну частоту обертання робочого органа. Приймальний бункер жорстко закріплений на бетонній основі, що гарантує надійність і стійкість конструкції під час експлуатації. Транспортований матеріал вивантажується безпосередньо в приймальну ємність кормозмішувача. Для забезпечення необхідного положення та додаткової фіксації транспортера його вихідний кінець закріплюється за допомогою кронштейна.



1 – електродвигун; 2 – передавальний механізм; 3 – шнек, 4 – бункер; 5 – вал шнека; 6 – приймальна ємність; 7 – кронштейн; 8 – труба.

Рисунок 2.2 – Принципова схема роботи шнекового транспортного механізму

Продуктивність шнекового транспортера значною мірою залежить від частоти обертання його робочого органа, фізико-механічних характеристик

матеріалу, що транспортується, а також конструктивно-геометричних параметрів шнека [4]. Для визначення впливу частоти обертання на величину продуктивності використовують відповідну розрахункову залежність, яка встановлює кількісний зв'язок між зазначеними параметрами:

$$Q_0 = \frac{\psi \cdot \varphi_0 (1 + \sqrt{1 - \varphi_0}) \cdot \pi \cdot D^3 \cdot \omega (T^2 + 0,5\pi \cdot \mu \cdot D \cdot T (1 + \sqrt{1 - \varphi_0}))}{16(T^2 + 0,25\pi^2 D^2 (2 + \varphi_0 - 2\sqrt{1 - \varphi_0}))}, \quad (2.2)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнека,  $D = D_J - z$ ;

$D_J$  – внутрішній діаметр труби (жолоба), в якій розміщено шнек;

$z$  – радіальний зазор між зовнішньою крайкою витка шнека та

внутрішньою поверхнею труби  $z = 0,02 D_J$ ;

$\mu$  – коефіцієнт тертя транспортованої сировини по поверхні шнека;

$T$  – крок навивки (спіралі) шнека,  $T = 0,7 D_J$ ;

$\varphi_0$  – коефіцієнт заповнення робочого об'єму шнекового транспортера,

$\varphi_0 = 0,8$ ;

$\psi$  – коефіцієнт, залежить від ширини спіралі шнека,

$$\psi = \frac{4k_\psi \cdot B(D_J - B - 2z)}{D_J^2}; \quad (2.3)$$

де  $k_\psi$  – коефіцієнт, що враховує вплив ширини витка спіралі шнека,

$k_\psi = 1$  – для сипких матеріалів;

$B$  – ширина витка спіралі шнека,  $B = 0,3D_J$ ;

$\omega$  – кутова швидкість обертання шнека,  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ ,

$n$  – частота обертання шнека.

За отриманою формулою визначено об'єм матеріалу  $Q_0$ , м<sup>3</sup>, який транспортується шнековим механізмом протягом однієї секунди [4]. Для

визначення масової кількості сировини  $Q$ , що передається за одну годину, виконують перехід від об'ємної до масової продуктивності за залежністю:

$$Q = 3600 \cdot Q_0 \cdot \gamma_c, \quad (2.4)$$

де  $\gamma_c$  – питома вага (об'ємна маса) кормосуміші  $\gamma_c = 900$ , кг/м<sup>3</sup>.

На основі отриманих аналітичних залежностей побудовано графіки впливу основних кінематичних та енергетичних параметрів на продуктивність шнекових транспортерів, зокрема частоти обертання шнека, кутової швидкості та геометричних характеристик робочого органа (рис. 2.3).

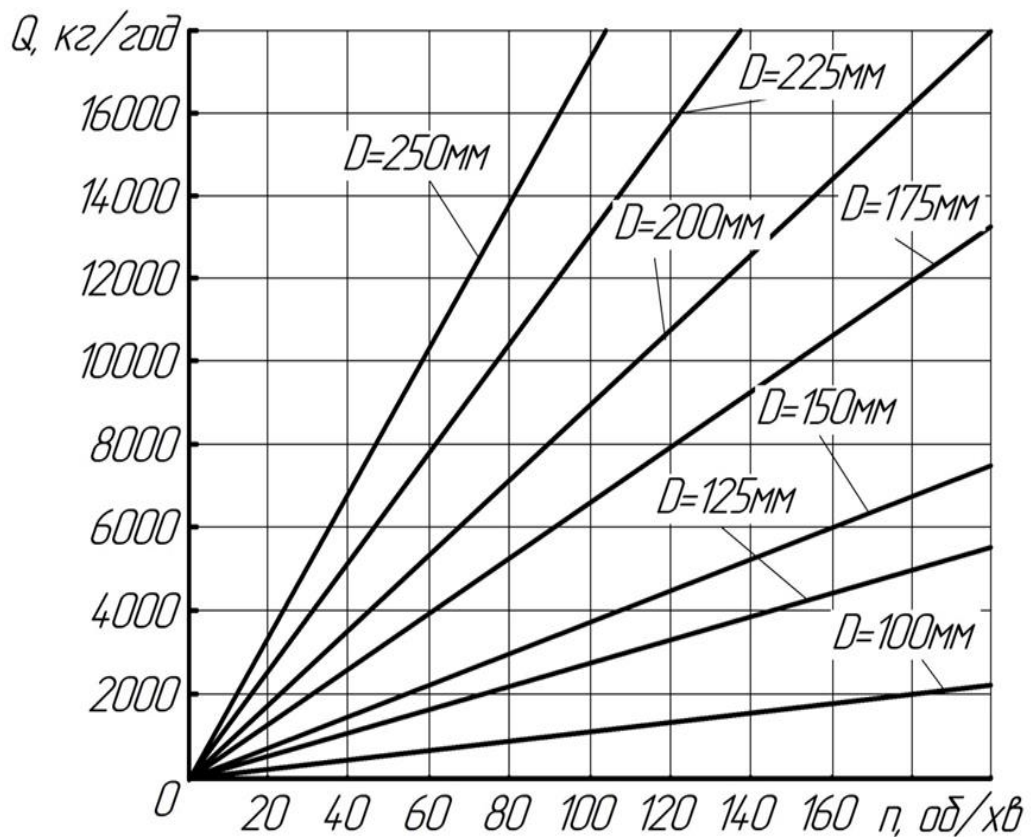


Рисунок 2.3 – Графік залежності продуктивності шнекового транспортера від його конструктивних та кінематичних параметрів

Для змішування кормів використовуємо змішувач об'ємом  $V_{3M} = 3\text{ м}^3$ , що відповідає масі кормосуміші:

$$Q_{3M} = 3 \cdot 900 = 2700 \text{ кг}$$

Час завантаження становить 20 хв. Таким чином продуктивність шнекового транспортера становитиме:

$$Q_{TP} = 3 \cdot Q_{3M} = 3 \cdot 2700 = 8100 \text{ кг/год}$$

Відповідно до рисунку 2.3 приймаємо шнек з діаметром  $D=175$  мм та частотою обертання  $n=120$  об/хв.

### 2.3 Розрахунок геометричних та кінематичних параметрів вихідного отвору вібродозатора

Продуктивність вихідного отвору бункера,  $Q_B, \text{см}^3/\text{с}$ , через який витікає матеріал добавок, визначають за формулою:

$$Q_B = \frac{14,77 \cdot K_{\text{ш}} \cdot \lambda \cdot \lambda_1 \cdot \pi \cdot r^{3,25}}{f_{BH}^{0,5}}, \quad (2.5)$$

де  $K_{\text{ш}}$  – коефіцієнт ущільнення витікаючого потоку насіння  $K_{\text{ш}} = 0,7$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт витрат матеріалу  $\lambda = 0,81$ ;

$\lambda_1$  – коефіцієнт пропорційності  $\lambda_1 = 0,92$ ;

$f_{BH}$  – коефіцієнт внутрішнього тертя  $f_{BH} = 0,93$ ;

Визначаємо поточну продуктивність мікродозатора:

$$Q_D = \frac{Q_M}{T} = \frac{27}{20 \cdot 60} = 22,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с} = 22,5 \text{ г/с};$$

В бункер дозатора завантажують мікродобавки вагою  $Q_M = 27 \text{ кг}$ , що має об'єм:

$$V_M = \frac{Q_M}{\rho_M} = \frac{27}{800} = 33,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

де  $\rho_M$  – густина матеріалу мікродобавок  $\rho = 800 \text{ кг} / \text{м}^3$ .

Один грам сировини має об'єм:

$$V_0 = \frac{V_M}{Q_M} = \frac{33,75 \cdot 10^{-3}}{27 \cdot 10^3} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 1,25 \text{ см}^3$$

Тоді:

$$Q_B = V_0 \cdot Q_D = 1,25 \cdot 22,5 = 28,1 \text{ см}^3 / \text{с}.$$

Необхідна об'ємна подача сировини мікродобавок:

$$Q_V = \frac{Q_T}{\rho_M} = \frac{22,5 \cdot 10^3}{800} = 2,81 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Визначаємо радіус вихідного отвору бункера вібродозатора для забезпечення необхідної продуктивності:

$$r = 3,25 \sqrt{\frac{f_{BH}^{0,5} \cdot Q_B}{14,77 \cdot K_{Щ} \cdot \lambda \cdot \lambda_1 \cdot \pi}} = 3,25 \sqrt{\frac{0,9^{0,5} \cdot 28,1}{14,77 \cdot 0,7 \cdot 0,81 \cdot 0,92 \cdot \pi}} = 1,16 \text{ см} = 11,6 \text{ мм}.$$

Площа поперечного перетину вихідного отвору бункера становить:

$$A_0 = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 12^2 = 452 \text{ мм}^2.$$

Для електромеханічних віброживильників типова робоча частина 50 Гц або 25 Гц залежно від конструкції, приймаємо  $f = 25$  Гц. Швидкість транспортування маси кормових добавок по вібрототку, визначають за формулою:

$$A_0 = C \cdot 2\pi \cdot f \cdot a \quad (2.6)$$

де  $a$  – амплітуда коливань, приймаємо  $a = 2$  мм;

$C$  – коефіцієнт переносу, приймаємо  $C = 0,2$ ;

Швидкість транспортування дорівнює:

$$v = 0,2 \cdot 2\pi \cdot 25 \cdot 2 = 62,8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Для безперебійної роботи живильника його площу поперечного перерізу встановлюємо в залежності:

$$Q_V = A_{жс} \cdot v. \quad (2.7)$$

$$A_{жс} = \frac{Q_V}{v} = \frac{2,81 \cdot 10^{-3}}{62,8 \cdot 10^{-3}} = 45,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 450 \text{ мм}^2.$$

Що відповідає площі поперечного вихідного отвору бункера  $A_{жс} = A_0$ .

У результаті проведених розрахунків визначено геометричні та кінематичні параметри вихідного отвору вібродозатора, які забезпечують необхідну продуктивність і стабільність подачі мікродобавок. Отримані значення параметрів відповідають технологічним вимогам до процесу дозування та створюють умови для рівномірного надходження компонентів у змішувач. Результати розрахунків можуть бути використані при подальшому проектуванні та вдосконаленні конструкції вібродозатора.

## 3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ДОЗАТОРА МІКРОДОБАВОК

### 3.1. Вибір конструктивної та кінематичної схеми дозатора мікродобавок

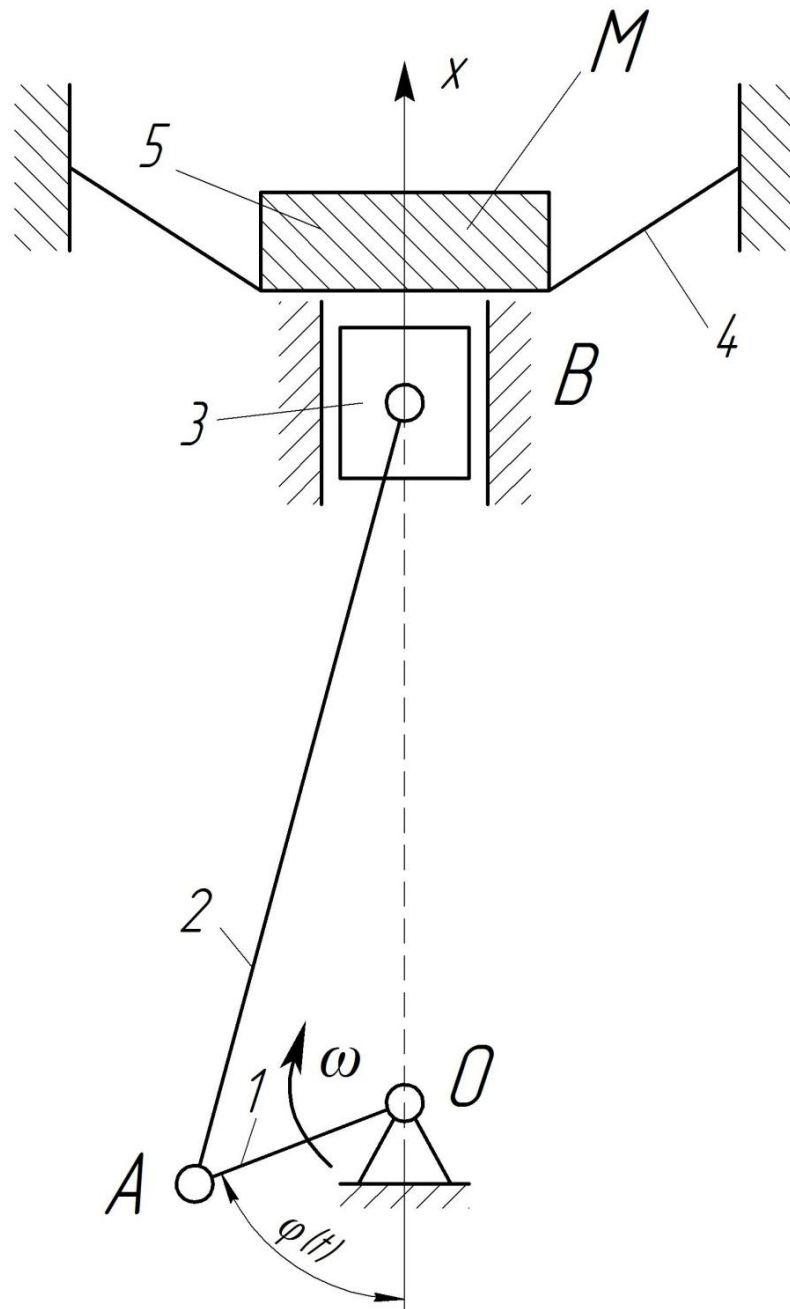
Кінетика процесу змішування реальних кормових сумішей визначається фізико-механічними властивостями окремих компонентів та режимами перемішування і може мати різний характер перебігу. Аналіз критеріїв оцінювання якості змішування свідчить, що найбільш поширеним є статистичний метод контролю. При цьому розміри відібраних проб, їх кількість, а також відносний вміст контрольного компонента у суміші істотно впливають на результати оцінки однорідності.

Для реалізації процесу змішування розроблено велику кількість конструкцій змішувачів, які за характером виконання технологічного процесу поділяють на змішувачі періодичної та безперервної дії. Періодичне змішування, як правило, відбувається у замкнутому об'ємі змішувального пристрою, при цьому вирішальним параметром є тривалість процесу, яка повинна бути мінімально достатньою для забезпечення заданого рівня однорідності суміші [8].

Мікродобавки, що вводяться до кормів для годівлі тварин, зазвичай становлять близько 10 кг на 1 т кормової суміші. Аналіз існуючих конструкцій дозувального обладнання показує, що для подачі мікродобавок у малих дозах найбільш доцільним є застосування дозаторів вібраційної дії, які забезпечують стабільність подачі та високу точність дозування.

Кінематична схема вібраційного дозатора наведена на рис. 3.1. Вал з ексцентриком  $l_{OA}=l$  приводить у рух шатун, до якого приєднаний повзун-пульсатор. Перед початком робочого ходу повзун без зазору контактує з мембраною конічної форми, на яку діє вага суміші мікродобавок масою  $M$ .

Конструктивне виконання вібраційного дозатора подано на рисунку 3.2.

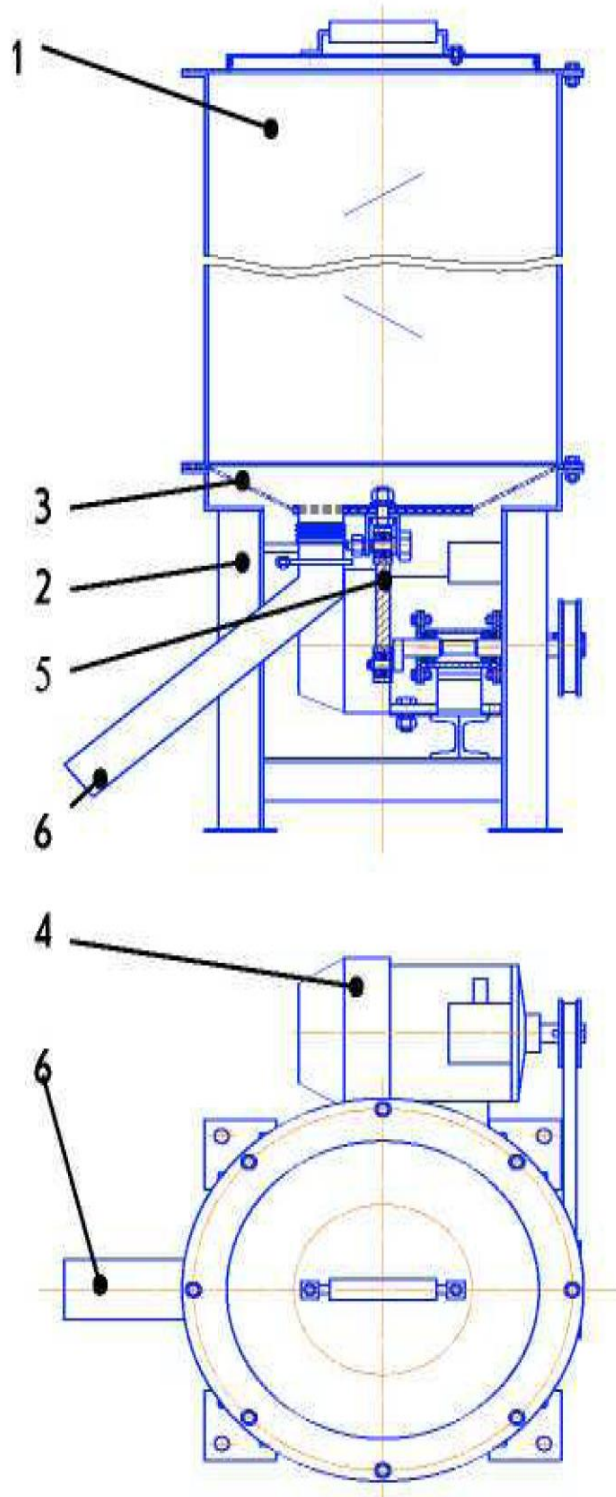


1 – кривошипний механізм; 2 – шатун; 3 – штовхач (пульсатор);  
4 – еластична мембрана; 5 – маса суміші мікродобавок.

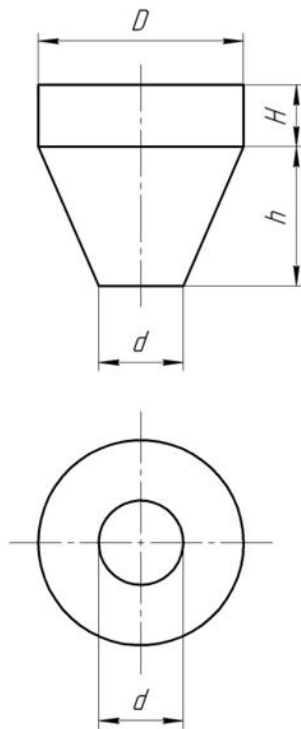
Рисунок 3.1 – Кінематична схема вібраційного дозатора мікродобавок

Дозатор функціонує таким чином: вал з ексцентриком приводиться в обертання електродвигуном. Обертальний рух через шатун передається штовхачу, який створює імпульсну дію на конічну мембрану. Мембрана разом із бункером закріплена на рамі. У результаті вібраційного впливу суміш

мікродобавок проходить крізь отвори в мембрані та надходить у випускний патрубок.



1 – бункер для мікродобавок; 2 – несуча рама; 3 – робоча мембрана;  
4 – електродвигун приводу; 5 – шатун; 6 – лоток живильника.  
Рисунок 3.2 – Конструктивна схема вібраційного дозатора мікродобавок



$D$  – діаметр завантажувального (вхідного) отвору бункера;  $d$  – діаметр випускного (вихідного) отвору бункера;  $H$  – висота циліндричної частини бункера;  $h$  – висота конічної частини бункера.

Рисунок 3.3 – Конструктивні параметри конічних і конічно-циліндричних бункерів

Конструктивно бункер приймаємо у вигляді циліндра з конічною нижньою частиною (рис.3.3), загальний об’єм якого визначають за залежністю [4]:

$$v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H + \frac{(D^2 + Dd + d^2)}{12} \cdot h, \text{ м}^3, \quad (3.1)$$

де  $D$  – прийнятий діаметр циліндричної частини бункера становить

$$D = 400 \text{ мм};$$

$d$  – діаметр випускного отвору бункера приймаємо  $d = 200$  мм;

$H$  – висота циліндричної частини бункера приймаємо,  $H = 500$  мм.

Висоту конічної частини бункера визначаємо з умови забезпечення заданого об'єму:

$$h = \frac{v - \frac{\pi D^2}{4} \cdot H}{\frac{D^2 + Dd + d^2}{12}} = \frac{0,133 - \frac{\pi 0,4^2}{4} \cdot 0,5}{\frac{0,4^2 + 0,4 \cdot 0,2 + 0,2^2}{12}} = 0,308 \text{ м.}$$

На основі аналізу існуючих конструкцій дозувальних пристроїв обрано конструктивну та кінематичну схему вібродозатора мікродобавок, яка найбільшою мірою відповідає вимогам технологічного процесу годівлі свиней. Запропонована схема забезпечує рівномірну подачу мікродобавок, необхідну точність дозування та надійність роботи обладнання.

### 3.2. Аналітичне обґрунтування кінематичних параметрів пульсатора

Величину переміщення точки В дозатора (рис. 3.1) визначають за залежністю [9]:

$$x_B = l_1 \cos(\omega \cdot t) + l_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}, \quad (3.2)$$

де  $l_1$  – ексцентриситет (ексцентрик) механізму, приймаємо  $l_1 = 1$  мм;

$l_2$  – довжина шатуна, приймаємо  $l_2 = 31$  мм;

$\omega$  – кутова швидкість обертання вала,  $\omega = 157$  с<sup>-1</sup>.

$$x_B = 1 \cdot \cos(\omega \cdot t) + 31 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{31}\right)^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}.$$

Визначаємо швидкість та прискорення штовхача (пульсатора) дозатора:

$$\frac{dx_B(t)}{dt} = v_B(t) = l_1 \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) - \left( \frac{l_1^2 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t)}{l_2 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)}} \right) \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dv_B(t)}{dt} = a_B(t) = & \frac{l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2 \cdot \left( \sqrt{1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}} \right)} - \left( \frac{l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t)^2}{l_2 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)}} \right) - \\ & - l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) - \left( \frac{l_1^4 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t)^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^3 \cdot \left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)^{3/2}} \right). \end{aligned} \quad (3.4)$$

Максимальне лінійне прискорення штовхача вібраційного дозатора визначають шляхом дослідження на екстремум функції (3.4).

$$\frac{da_B(t)}{dt} = 0; \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{da_B(t)}{dt} = & l_1 \cdot \omega^3 \cdot \sin(\omega \cdot t) + \frac{4 \cdot l_1^2 \cdot \omega^3 \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t)}{l_2 \cdot \left( \sqrt{1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}} \right)} + \\ & + \frac{3l_1^4 \cdot \omega^3 \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t)^3}{l_2^3 \cdot \left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)^{3/2}} - \left( \frac{3l_1^4 \cdot \omega^3 \cdot \cos(\omega \cdot t)^3 \cdot \sin(\omega \cdot t)}{l_2^3 \cdot \left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)^{3/2}} \right) - \end{aligned}$$

$$-\frac{3l_1^6 \cdot \omega^3 \cdot \cos(\omega \cdot t)^3 \cdot \sin(\omega \cdot t)^3}{l_2^5 \cdot \left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)^2}{l_2^2}\right)^{5/2}} = 0, \quad (3.6)$$

Прирівнюючи отриманий аналітичний вираз до нуля, визначаємо момент часу, за якого лінійне прискорення штовхача досягає максимального значення, тобто  $t_0 = 0$ .

З урахуванням знайденого значення часу визначаємо максимальне прискорення штовхача вібраційного дозатора за умови, що:

$$a_{MAX} = \frac{l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t_0)^2}{l_2 \cdot \left(\sqrt{1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t_0)^2}{l_2^2}}\right)} - \left( \frac{l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t_0)^2}{l_2 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t_0)^2}{l_2^2}\right)}} - l_1^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t_0) - \frac{l_1^4 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t_0)^2 \cdot \sin(\omega \cdot t_0)^2}{l_2^3 \cdot \left(1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin(\omega \cdot t_0)^2}{l_2^2}\right)^{3/2}} \right). \quad (3.7)$$

$$a_{MAX} = \frac{1^2 \cdot 157^2 \cdot \sin(157 \cdot 0)^2}{31 \cdot \left(\sqrt{1 - \frac{1^2 \cdot \sin(157 \cdot 0)^2}{31^2}}\right)} - \left( \frac{1^2 \cdot 157^2 \cdot \cos(157 \cdot 0)^2}{31 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{1^2 \cdot \sin(157 \cdot 0)^2}{31^2}\right)}} \right)$$

$$-1^2 \cdot 157^2 \cdot \cos(157 \cdot 0) - \left( \frac{1_1^4 \cdot 157^2 \cdot \cos(157 \cdot 0)^2 \cdot \sin(157 \cdot 0)^2}{31^3 \cdot \left( 1 - \frac{(1^2 \cdot \sin(157 \cdot 0)^2)}{31^2} \right)^{3/2}} \right) = 2,554 \cdot 10^4 \frac{MM}{c^2},$$

$$a_{MAX} = 25,54 \frac{M}{c^2}.$$

За допомогою пакетів прикладних програм виконано дослідження кінематики руху штовхача-дозатора, зокрема визначено закономірності зміни переміщення, швидкості та прискорення точки В дозатора протягом одного повного оберту кривошипа:

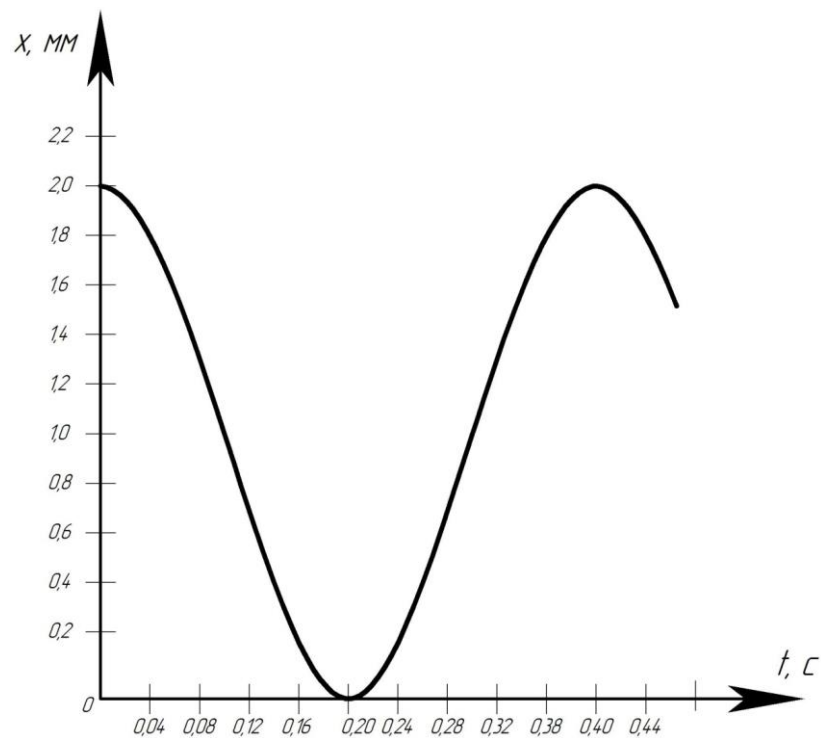


Рисунок 3.4 – Графічна залежність переміщення точки В дозатора за один цикл обертання кривошипа

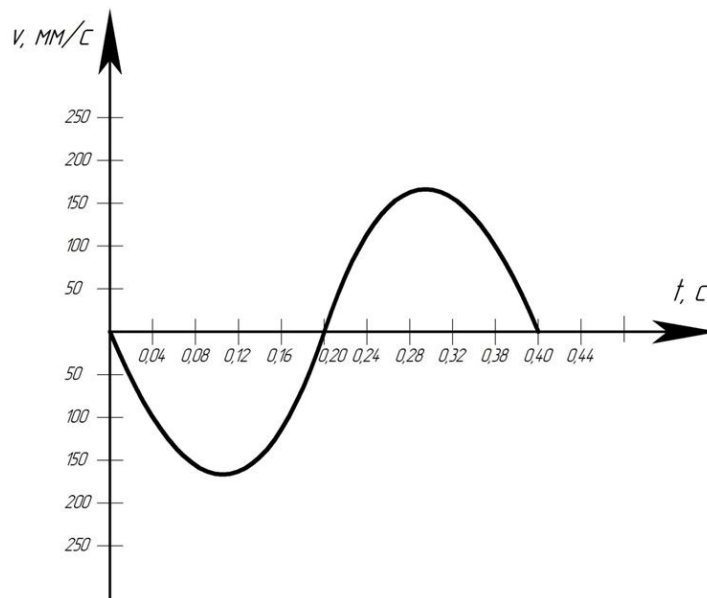


Рисунок 3.5 – Графічна характеристика швидкості руху точки В дозатора за один цикл обертання кривошипа

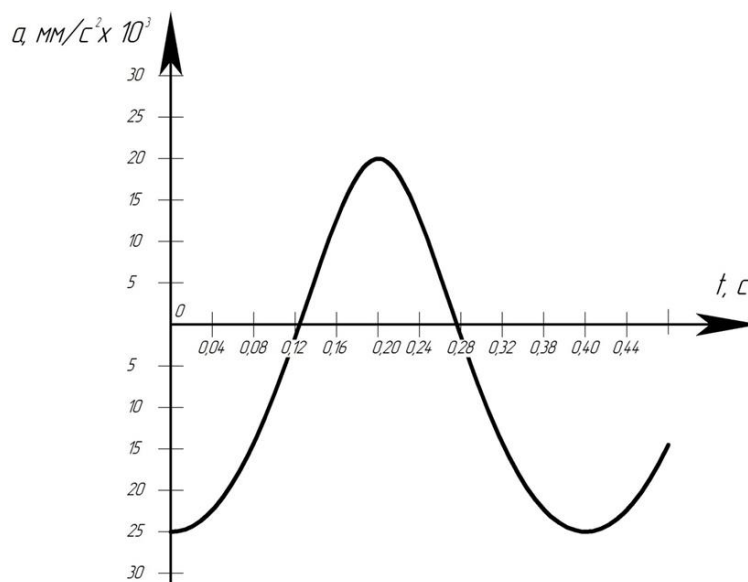


Рисунок 3.6 – Графічна характеристика зміни прискорення точки В дозатора за один цикл обертання

### 3.3. Розрахунок міцності та жорсткості вала вібраційного дозатора

Вал вібраційного дозатора є одним із основних елементів приводу, який сприймає змінні механічні навантаження під час роботи обладнання.

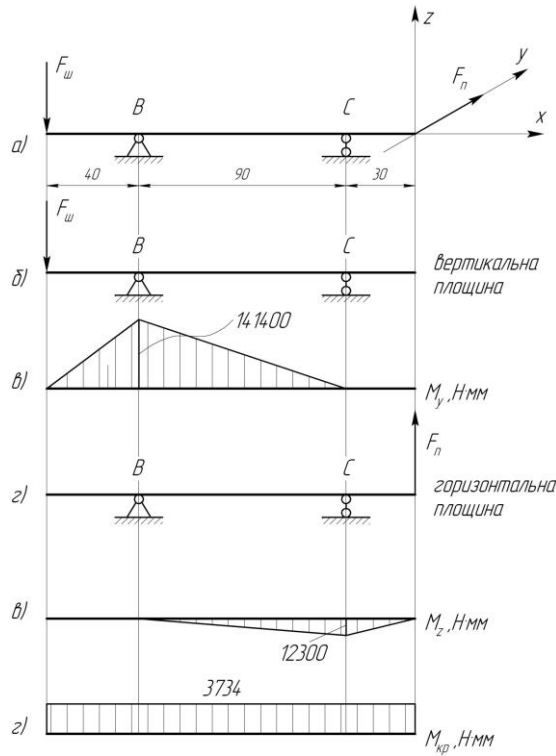


Рисунок 3.7 – Схема навантаження вала вібродозатора та епюри згинальних моментів і поперечних сил

Надійність і довговічність роботи дозатора значною мірою залежать від міцності та жорсткості вала, оскільки його деформації або руйнування можуть призвести до порушення режиму дозування та зниження ефективності роботи установки.

У місці кріплення шатуна до вала виникає дія сил, зумовлених роботою кривошипно-шатунного механізму:

$$F_{ш} = F + F_i, \quad (3.8)$$

де  $F$  – сила ваги мікродобавок;

$F_i$  – сила інерції маси мікродобавок, що передається на шатун.

$$F = M \cdot g, \quad (3.9)$$

$$F = M \cdot g = 107 \cdot 9,81 = 1044H,$$

$$F_i = M \cdot a_{MAX} \quad (3.10)$$

$$F_i = 107 \cdot 25,54 = 2554 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$F_{\text{ш}} = F + F_i = 981 + 2554 = 3535 \text{ Н.}$$

Силу тиску на вал у місці посадки шківів, зумовлену натягом клинопасової передачі, визначають за залежністю:

$$F_{\text{II}} = 2F_0 \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (3.11)$$

де  $F_0$  – сила попереднього натягу паса;

$\beta$  – кут між вітками паса.

Силу попереднього натягу паса визначають за формулою:

$$F_0 = \sigma_0 \cdot A, \quad (3.12)$$

де  $\sigma_0$  – нормальне напруження в пасі початкове;  $\sigma_0 = 1,5 \text{ Н/мм}^2$ ;

$A$  – площа поперечного перерізу паса,  $A = 138 \text{ мм}^2$ ;

$$F_0 = 1,5 \cdot 138 = 207 \text{ Н.}$$

$$F_{\text{II}} = 2 \cdot 207 \cdot \cos\left(\frac{14}{2}\right) = 410 \text{ Н.}$$

Отримані силові фактори діють у взаємно перпендикулярних площинах. У зв'язку з цим для побудови епюр згинальних моментів відсутня необхідність у визначенні опорних реакцій.

У вертикальній площині згинальний момент становить:

$$M_y^B = F_{\text{ш}} \cdot 40 = 3535 \cdot 40 = 141400 \text{ Н}\cdot\text{мм.}$$

На рисунку 3.7 наведено епюру згинальних моментів у вертикальній площині.

У горизонтальній площині величина згинального моменту дорівнює:

$$M_z^C = F_{II} \cdot 30 = 410 \cdot 30 = 12300 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Крутний момент, що діє на вал, становить:

$$T = F_{III} \cdot l_1 = 3535 \cdot 1 = 3535 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Перевірку вала на міцність виконуємо у перерізі В, у якому одночасно діють згинальні моменти  $M_{32.MAX} = 141400$ , а також крутний момент  $M_{кр} = 3535 \text{ Н}\cdot\text{мм}$ .

Розрахунковий еквівалентний момент, визначений за третьою теорією міцності, дорівнює:

$$M_p^{III} = \sqrt{M_{32.MAX}^2 + M_{кр}^2} = \sqrt{141400^2 + 3535^2} = 141444 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Із умови міцності за нормальними напруженнями визначаємо мінімально допустимий діаметр вала:

$$d \geq 3 \sqrt{\frac{32 \cdot M_p^{III}}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (3.13)$$

де  $[\sigma]$  – допустимі нормальні напруження матеріалу вала, для Сталі 45

$$[\sigma] = 200 \text{ МПа}$$

$$d \geq 3 \sqrt{\frac{32 \cdot 141444}{3,14 \cdot 200}} = 19,31 \text{ мм},$$

Звідси мінімальний розрахунковий діаметр вала становить  $d = 20$  мм.

### 3.4. Розрахунок вала на жорсткість

Прогин вала вібраційного дозатора визначаємо в точці К – місці кріплення шатуна. Розрахунок виконуємо графоаналітичним методом.

На першому етапі будують епюри згинальних моментів від дії зовнішніх навантажень. Для визначення прогину в точці К у цій точці прикладають одиничну силу, після чого будують епюри згинальних моментів, зумовлених дією цієї сили.

Прогин точки К визначають за виразом:

$$y_K = \frac{1}{EI_0} (\omega_1 \cdot M_{C_1} + \omega_2 \cdot M_{C_2}), \quad (3.14)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу вала,  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;

$I_0$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу вала.

$$I_0 = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 20^4}{64} = 7850 \text{ мм}^4;$$

$\omega_1, \omega_2$  – Площі епюр згинальних моментів від дії зовнішніх навантажень становлять:

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 141400 = 2828000 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2;$$

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot 141400 = 6363000 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2;$$

де  $M_{C_1}, M_{C_2}$  – величини згинальних моментів від дії одиничної сили, прикладеної в точці К, під центрами ваги відповідних площ епюр від зовнішніх навантажень дорівнюють:

$$M_{C_1} = M_{C_2} = \frac{2}{3} \cdot 40 = 26,7 \text{ мм.}$$

Прогин точки К визначається як:

$$y_K = \frac{1}{2 \cdot 10^5 \cdot 7850} (2828000 \cdot 26,7 + 6363000 \cdot 26,7) = 0,156 < [y] = 0,2 \text{ мм,}$$

де  $[y]$  – допустиме значення максимального прогину, яке з конструктивних міркувань приймаємо  $[y] = 0,2 \text{ мм}$ .

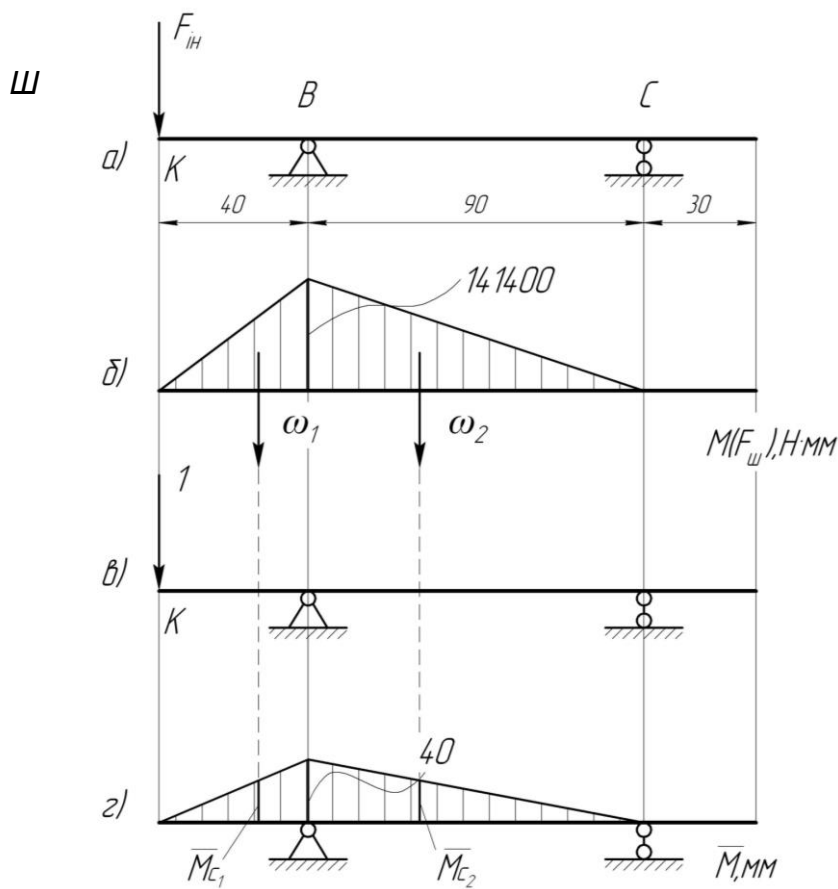


Рисунок 3.8 –Схема прикладання сил для розрахунку прогину в точці К

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз умов праці при експлуатації системи годівлі свиней та дозатора мікродобавок

Інтенсифікація свинарства та впровадження автоматизованих систем приготування і роздавання кормів забезпечують підвищення продуктивності праці та зниження виробничих витрат, проте одночасно супроводжуються виникненням додаткових виробничих небезпек для обслуговуючого персоналу. При експлуатації систем годівлі свиней, обладнаних механізованими транспортними засобами, змішувачами та дозаторами мікродобавок, працівники можуть піддаватися впливу комплексу шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища.

До основних небезпечних факторів належать рухомі частини механізмів (вали, шнеки, транспортери, приводи дозаторів), підвищений рівень шуму та вібрацій, наявність електричного обладнання, можливість виникнення травм при обслуговуванні обладнання, а також небезпека контакту з агресивними або пилоподібними кормовими добавками. При роботі дозатора мікродобавок особливої уваги потребують операції завантаження, дозування та технічного обслуговування системи [1].

У процесі роботи кормоцехів та свинарських приміщень додатково виникають несприятливі санітарно-гігієнічні фактори: підвищена вологість повітря, запиленість, наявність газів біологічного походження (аміак, сірководень, вуглекислий газ), коливання температури та погіршення параметрів мікроклімату. Тривала дія таких факторів здатна викликати професійні захворювання, зниження працездатності та погіршення загального стану здоров'я працівників. Відповідно до вимог чинного законодавства безпека технологічних процесів свинарства повинна забезпечуватись шляхом виконання вимог нормативних документів, технологічної документації та інструкцій з охорони праці.

## 4.2 Заходи безпеки під час експлуатації дозатора мікродобавок

При розробці дозатора мікродобавок важливим завданням є створення конструкції, яка забезпечує безпечне виконання технологічних операцій. Для цього необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів захисту персоналу.

Усі рухомі частини приводу, передачі, шнеки та елементи механізму дозування повинні обладнуватися захисними кожухами, які виключають випадковий доступ працівника до небезпечних зон. Конструкція дозатора повинна забезпечувати можливість очищення і технічного обслуговування без демонтажу елементів захисту або при повному відключенні обладнання від джерел живлення [13].

Пускові пристрої системи повинні бути розміщені у доступних місцях і мати чітке маркування. Також доцільним є встановлення аварійної системи відключення обладнання. Електричне обладнання повинно відповідати вимогам електробезпеки та мати захисне заземлення.

Особливу увагу необхідно приділити процесу роботи з мікродобавками. Значна частина кормових компонентів характеризується високою дисперсністю, що супроводжується утворенням пилу. Потрапляння пилових частинок до органів дихання може спричинити алергічні реакції, подразнення слизових оболонок та захворювання дихальної системи. У зв'язку з цим працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: респіратори, захисні окуляри, спецодяг та рукавиці.

Дотримання вимог безпеки під час роботи обладнання дозволяє знизити ризик виробничого травматизму та підвищити ефективність експлуатації системи годівлі [6].

### **4.3 Санітарно-гігієнічні умови праці у свинарських приміщеннях**

Ефективність функціонування системи годівлі та безпечні умови праці значною мірою залежать від параметрів виробничого середовища. Несприятливі мікрокліматичні умови негативно впливають як на персонал, так і на продуктивність тварин.

Під час роботи свинарських підприємств у приміщеннях накопичуються пил, мікроорганізми та шкідливі гази, що утворюються внаслідок життєдіяльності тварин і розкладання органічних речовин. Найбільш поширеними газами є аміак, вуглекислий газ та сірководень. Підвищення концентрації зазначених речовин призводить до погіршення санітарно-гігієнічних умов праці, подразнення слизових оболонок та виникнення професійних захворювань [1;6].

Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища необхідно використовувати ефективну систему вентиляції, яка забезпечуватиме своєчасне видалення забрудненого повітря та подачу свіжого. Крім того, необхідно здійснювати регулярне прибирання виробничих приміщень, дезінфекцію обладнання та контроль санітарного стану приміщень.

Підтримання оптимального мікроклімату забезпечує підвищення продуктивності праці, зменшення захворюваності персоналу та сприяє покращенню виробничих показників свинарського підприємства.

### **4.4 Пожежна безпека та заходи щодо попередження аварійних ситуацій**

На підприємствах свинарської галузі значну увагу необхідно приділяти пожежній безпеці, оскільки виробничі приміщення містять значну кількість горючих матеріалів: кормів, пилу, електропроводки, полімерних матеріалів та мастильних речовин.

Основними причинами виникнення пожеж є короткі замикання електромережі, порушення правил експлуатації електрообладнання, перегрівання механізмів, накопичення пилу та недотримання правил техніки безпеки [2].

Для попередження аварійних ситуацій необхідно проводити періодичні огляди електрообладнання, здійснювати контроль технічного стану механізмів, підтримувати належний стан заземлення та систем електрозахисту. У виробничих приміщеннях повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння, плани евакуації та засоби оповіщення [1;6].

Працівники підприємства повинні проходити первинний і повторний інструктажі з охорони праці та пожежної безпеки. Систематичне навчання персоналу дозволяє мінімізувати ризик виникнення нещасних випадків та аварійних ситуацій у процесі виробництва.

## ВИСНОВКИ

Підвищення ефективності системи годівлі свиней значною мірою залежить від точності дозування мікродобавок та якості підготовки кормових сумішей. Удосконалення технічних засобів подачі й дозування кормових компонентів сприяє покращенню однорідності сумішей, зменшенню втрат цінних добавок і підвищенню продуктивності тварин. За результатами проведених досліджень та інженерних розрахунків сформульовано такі висновки:

1. Проведено аналіз сучасних технологій використання мікродобавок у годівлі свиней, їх класифікації та механізмів внесення до кормових сумішей. Встановлено, що точність дозування мікрокомпонентів є одним із визначальних чинників забезпечення якості кормів і ефективності виробництва продукції свинарства.

2. Обґрунтовано вибір механізмів подачі кормів і мікродобавок до змішувача та визначено основні конструктивні й кінематичні параметри шнекового транспортера та вібродозатора, що забезпечують необхідну продуктивність і стабільність технологічного процесу.

3. Розроблено конструктивну та кінематичну схему дозатора мікродобавок, виконано аналітичне обґрунтування параметрів його робочих органів і визначено раціональні режими роботи, спрямовані на підвищення точності дозування.

4. Проведені розрахунки міцності та жорсткості основних елементів конструкції підтвердили працездатність і надійність розробленого дозатора. Запропоноване технічне рішення сприяє покращенню якості кормових сумішей, зменшенню втрат мікродобавок та підвищенню ефективності системи годівлі свиней.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрійчук В. Г. Охорона праці в агропромисловому виробництві : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 334 с.
2. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
3. 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.
4. 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 верес. 2021 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. С. 67–68.
5. 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 трав. 2025 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 128–129.
6. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : навч. посіб. – Вид. 2-ге, стереотип. – Львів : Афіша, 2000. – 348 с.
7. Кісільов Р. В. Теоретичні дослідження процесу змішування кормів стрічково-лопатовим змішувачем // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць. – Кіровоград : КНТУ, 2011. – Вип. 24, ч. 1. – С. 167–175.
8. Кісільов Р. В., Лузан П. Г., Богатирьов Д. В., Нестеренко О. В. Дослідження процесу сумішоутворення лопатовим змішувачем для ВРХ // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 52. – С. 66–72. DOI: 10.32515/2414-3820.2022.52.66-72.

9. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. Ч. 1. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. Основи агрономії : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 с.
17. 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: 10.1016/j.prostr.2022.01.025.

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 the Ternopil National Technical University*. 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. Liu Y., Espinosa C. D., Abelilla J. J. et al. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Animal Nutrition*. 2018. Vol. 4, No. 2. P. 113–125. DOI: 10.1016/j.aninu.2018.01.007.
24. Rao Z.-X., Tokach M. D., Woodworth J. C., DeRouchey J. M. Effects of Various Feed Additives on Finishing Pig Growth Performance and Carcass Characteristics: A Review. *Animals*. 2023. Vol. 13, No. 2. Art. 200. DOI: 10.3390/ani13020200.
25. 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.
26. Sampath V., Sureshkumar S., Seok W. J., Kim I. H. Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: a short review. *Journal of Animal*

*Science and Technology*. 2023. Vol. 65, No. 3. P. 479–489. DOI: 10.5187/jast.2023.e9.

27. Sampath V., Sureshkumar S., Seok W. J., Kim I. H. Role and functions of micro and macro-minerals in swine nutrition: a short review. *Journal of Animal Science and Technology*. 2023. Vol. 65, No. 3. P. 479–489. DOI: 10.5187/jast.2023.e9.

28. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. Yu. Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds // *Agricultural Science and Practice*. – 2024.

## ДОДАТКИ

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №		A1			КРБ 22-171.02.00 СК	Загальний вигляд		
Взам. инв. №		A1		1	КРБ 22-171.02.01	Ємність завантажувальна	1	
				2	КРБ 22-171.02.02	Рама	1	
				3	КРБ 22-171.02.03	Мембрана рухома	1	
				4	КРБ 22-171.02.04	Привід ексцентриковий	1	
				5	КРБ 22-171.02.05	Патрубок	1	
				6	КРБ 22-171.02.06	Кришка	1	
				7	КРБ 22-171.02.07	Передача пасова	1	
Подп. и дата						Стандартні вироби		
Подп. и дата				8		Електродвигун 4А80А1	1	
Подп. и дата								
Инв. № подл.		Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КРБ 22-171.02.00.СК		
Инв. № подл.		Пров.	Цьонь Г.Б.			Дозатор		Лит.
Инв. № подл.		Н.контр.	Сташків М.Я.			мікродобавок		Листов
								ФМТ, гр. МГ-41

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № посл.	Лист		
														Лит.	Лист	Листов
				<u>Документація</u>												
A1			КРБ 22-171.02.04 СК	Складальне креслення	1											
				<u>Деталі</u>												
		1	КРБ 22-171.02.04.01	Шатун	1											
		2	КРБ 22-171.02.04.02	Шків	1											
		3	КРБ 22-171.02.04.03	Шків	1											
		4	КРБ 22-171.02.04.04	Пластина електродвигуна	1											
		5	КРБ 22-171.02.04.05	Пластина опорна	1											
		6	КРБ 22-171.02.04.06	Вісь	1											
A4		7	КРБ 22-171.02.04.07	Кронштейн	1											
		8	КРБ 22-171.02.04.08	Втулка	2											
A4		9	КРБ 22-171.02.04.09	Втулка	1											
A4		10	КРБ 22-171.02.04.10	Вісь	1											
		11	КРБ 22-171.02.04.11	Перехідник	1											
A3		12	КРБ 22-171.02.04.12	Корпус	1											
A4		13	КРБ 22-171.02.04.13	Кришка	2											
A3		14	КРБ 22-171.02.04.14	Вал	1											
		15	КРБ 22-171.02.04.15	Втулка	1											
		16	КРБ 22-171.02.04.16	Втулка	2											
		17	КРБ 22-171.02.04.17	Пластина	1											
		18	КРБ 22-171.02.04.18	Пластина	1											
		19	КРБ 22-171.02.04.19	Болт регулювальний	2											
		20	КРБ 22-171.02.04.20	Упор	1											
		21	КРБ 22-171.02.04.21	Кільце ущільнююче	2											
													КРБ 22-171.02.04 СК			
													Привід			
													ексцентриковий			
													ФМТ, гр. МГ-41			
													Копіював			
													Формат А4			

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Стандартні вироби		
		22	КРБ 22-171.02.04.22	Болт М6×20	8	
		23	КРБ 22-171.02.04.23	Болт М8×20	4	
		24	КРБ 22-171.02.04.24	Болт М8×32	4	
		25	КРБ 22-171.02.04.25	Болт М6×12	1	
		26	КРБ 22-171.02.04.26	Болт М6×10	1	
		27	КРБ 22-171.02.04.27	Гайка М8×1,25	4	
		28	КРБ 22-171.02.04.28	Гайка М12×1,25	2	
		29	КРБ 22-171.02.04.29	Гайка М16×1,25	1	
		30	КРБ 22-171.02.04.30	Кільце А17	1	
		31	КРБ 22-171.02.04.31	Кільце А20	3	
		32	КРБ 22-171.02.04.32	Кільце А40	1	
		33	КРБ 22-171.02.04.33	Пас А-1000	1	
		34	КРБ 22-171.02.04.34	Підшипник 204	2	
		35	КРБ 22-171.02.04.35	Підшипник 180203	2	
		36	КРБ 22-171.02.04.36	Підшипник НК 202614	2	
		37	КРБ 22-171.02.04.37	Шайба пружина 6 65Г	8	
		38	КРБ 22-171.02.04.38	Шайба пружина 8 65Г	8	
		39	КРБ 22-171.02.04.39	Шайба С 16 Стт.3	1	
		40	КРБ 22-171.02.04.40	Шплінт4х36	1	
		41	КРБ 22-171.02.04.41	Шпонка 6х6х32	1	
		42	КРБ 22-171.02.04.42	Електродвигун 4А80А1	1	

Інв. № подл.	Підп. і дата
Взам. інв. №	Підп. і дата
Інв. № дубл.	Підп. і дата

Ізм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

КРБ 22-171.02.04 СК

Лист

2