**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

**Отвинівський Валерій Анатолійович**

**УДК 631.363:636.2**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

# Удосконалення технології приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі з розробкою дозатора сухих компонентів суміші

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Отвивінський В.А.

**Керівник роботи**
Дерев’янко Д.А.
доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2026**

# АНОТАЦІЯ

***Отвинівський Валерій Анатолійович. Удосконалення технології приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі з розробкою дозатора сухих компонентів суміші.*** *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технології приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі з розробкою дозатора сухих компонентів суміші. Проаналізовано існуючі технології приготування концентрованих кормів у тваринництві та враховано досвід країн Європейського Союзу щодо механізації, автоматизації й контролю якості кормоприготувальних процесів. Обґрунтовано необхідність модернізації технологічної лінії, яка включає операції приймання, очищення, подрібнення, дозування, змішування та транспортування кормових компонентів. Виконано підбір основного обладнання лінії та проведено розрахунки її технологічних параметрів. Особливу увагу приділено розробці дозатора сухих компонентів суміші, який забезпечує рівномірну й регульовану подачу сипучих кормових матеріалів. Запропоноване технічне рішення сприяє підвищенню точності дозування, покращенню однорідності готової кормової суміші та зменшенню втрат сировини. Результати роботи можуть бути використані під час модернізації існуючих кормоцехів і проєктування нових ліній приготування концентрованих кормів на молочно-товарних фермах.

*Ключові слова: концентровані корми, молочно-товарна ферма, кормоприготування, дозатор сухих компонентів, кормова суміш, технологічна лінія, механізація годівлі.*

# ANNOTATION

***Valery Anatolyevich Otvininsky. Improvements to the technology for producing concentrated feed on a dairy farm, including the development of a dispenser for dry components of the mixture.*** *– Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines ways of improving the technology for preparing concentrated feed on a dairy farm, including the development of a dispenser for the dry components of the mixture. Existing technologies for the preparation of concentrated feed in livestock farming have been analysed, and the experience of European Union countries regarding the mechanisation, automation and quality control of feed preparation processes has been taken into account. The necessity of modernising the production line, which includes the operations of receiving, cleaning, grinding, dosing, mixing and transporting feed components, has been substantiated. The main equipment for the line has been selected and its technological parameters calculated. Particular attention has been paid to the development of a dispenser for the dry components of the mixture, which ensures a uniform and adjustable feed of free-flowing feed materials. The proposed technical solution helps to increase dosing accuracy, improve the uniformity of the finished feed mixture and reduce raw material losses. The results of this work can be used during the modernisation of existing feed mills and the design of new lines for the preparation of concentrated feeds on dairy farms.

*Keywords: concentrated feed, dairy farm, feed preparation, dry ingredient dosing unit, feed mixture, production line, mechanisation of feeding.*

**ЗМІСТ**

ВСТУП……..……..…..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ В ТВАРИННИЦТВІ…….……...9
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ НА МОЛОЧНО-ТОВАРНІЙ ФЕРМІ….……..……..….16
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ…….……....29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…..…….…….…….54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….....……...…..……..56

# ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Ефективне ведення молочного скотарства значною мірою залежить від якості організації годівлі тварин, оскільки саме кормова база визначає рівень продуктивності корів, стан їхнього здоров'я, відтворну здатність та економічні показники роботи ферми. У структурі раціону великої рогатої худоби важливе місце займають концентровані корми, які є джерелом енергії, протеїну, мінеральних речовин і біологічно активних добавок. Їх використання дає змогу збалансувати раціон відповідно до фізіологічного стану, живої маси, рівня молочної продуктивності та періоду лактації тварин.

На сучасних молочно-товарних фермах особливого значення набуває не лише наявність необхідних кормових компонентів, а й правильність їх підготовки, дозування та змішування. Недотримання встановлених норм введення концентрованих кормів може призводити до перевитрат сировини, погіршення якості кормової суміші, зниження продуктивності тварин і збільшення собівартості молока. Тому технологічний процес приготування концентрованих кормів повинен забезпечувати точне дозування кожного компонента, рівномірне перемішування, мінімальні втрати корму та стабільну продуктивність лінії.

У багатьох господарствах приготування концентрованих кормів здійснюється із застосуванням застарілого або недостатньо пристосованого обладнання, яке не завжди забезпечує потрібну точність дозування сухих компонентів. Особливо це стосується добавок, преміксів, мінеральних речовин та інших сипучих матеріалів, які вводяться у невеликих кількостях, але істотно впливають на поживність і якість готової суміші. Нерівномірна подача таких компонентів може спричинити порушення рецептури, погіршення однорідності корму та зниження ефективності його використання тваринами.

Актуальність теми посилюється також необхідністю підвищення рівня механізації та автоматизації кормоприготувальних процесів на молочно-

товарних фермах. Раціональна організація лінії приготування концентрованих кормів дає змогу зменшити трудомісткість робіт, скоротити витрати часу, знизити енерговитрати та забезпечити більш стабільну якість готового корму. У цьому напрямі важливим технічним рішенням є розробка або удосконалення дозатора сухих компонентів суміші, який забезпечує рівномірну та регульовану подачу сипучих кормових матеріалів у технологічну лінію.

Таким чином, удосконалення технології приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі з розробкою дозатора сухих компонентів суміші є важливим завданням для підвищення ефективності годівлі, покращення якості кормової суміші, зменшення виробничих витрат і підвищення конкурентоспроможності молочного виробництва.

**Метою роботи** є підвищення ефективності технологічного процесу приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі шляхом удосконалення кормоприготувальної лінії та розробки дозатора сухих компонентів суміші, який забезпечує рівномірну, регульовану й надійну подачу сипучих кормових матеріалів.

Завдання:

- Проаналізувати існуючі технології приготування концентрованих кормів у тваринництві та визначити їхні переваги й недоліки.
- Розглянути досвід країн Європейського Союзу щодо організації виробництва, дозування та використання концентрованих кормів на молочно-товарних фермах.
- Обґрунтувати доцільність удосконалення технологічної лінії приготування концентрованих кормів в умовах молочно-товарної ферми.
- Розробити технологічну схему лінії приготування концентрованих кормів із урахуванням приймання, очищення, подрібнення, дозування, змішування та транспортування кормових компонентів.
- Виконати розрахунки основних технологічних параметрів лінії, визначити її продуктивність та підібрати необхідне обладнання.

- Обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри дозатора сухих компонентів суміші.
- Виконати розрахунок основних елементів дозатора та його приводу.

**Об’єктом дослідження** є технологічний процес приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі, що включає підготовку, дозування, змішування та подачу сухих кормових компонентів у складі кормової суміші.

**Предметом дослідження** є конструктивно-технологічні параметри лінії приготування концентрованих кормів і дозатора сухих компонентів суміші, а також закономірності їх впливу на рівномірність подачі кормових матеріалів, якість дозування, продуктивність і енергоємність технологічного процесу.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Грудовий Р.С., Отвивінський В.А., Руденко В.Г., Шевчук О.А., Герасимчук Д.В. Кормовиробництво в Україні: тенденції, проблеми і перспективи. Збірник тез XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 11 квітня 2025 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2025. С. 255.
2. Дерев’янко Д.А., Отвинівський В.А. Сорока Б.А. аналіз існуючих технологій приготування концентрованих кормів в тваринництві. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 195-198.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих технічних і технологічних рішень для удосконалення процесу приготування концентрованих кормів на молочно-товарних фермах. Розроблена лінія дає змогу забезпечити послідовне виконання основних операцій підготовки

кормових компонентів, підвищити точність їх дозування, покращити однорідність готової кормової суміші та зменшити втрати сировини.

Запропонований дозатор сухих компонентів суміші може бути використаний у складі кормоприготувальної лінії для регульованої подачі сипучих матеріалів. Його застосування сприяє стабілізації процесу дозування, зниженню впливу людського фактора, підвищенню надійності роботи обладнання та покращенню якості приготованого корму. Це особливо важливо під час введення до суміші компонентів, які мають невелику норму внесення, але значний вплив на поживність раціону.

Результати роботи можуть бути використані під час модернізації існуючих кормоцехів, проєктування нових ліній приготування концентрованих кормів, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Запропоновані рішення спрямовані на підвищення ефективності виробництва молока, раціональне використання кормових ресурсів і покращення техніко-економічних показників роботи молочно-товарної ферми.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 30 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок комп’ютерного тексту, містить 11 рисунків, 6 таблиць та 6 додатків.

# РОЗДІЛ 1
# АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ В ТВАРИННИЦТВІ

## 1.1. Значення концентрованих кормів у годівлі молочної худоби

Концентровані корми є важливою складовою раціонів молочної худоби, оскільки забезпечують надходження енергії, протеїну, мінеральних речовин, вітамінів та інших біологічно активних компонентів у кількостях, потрібних для підтримання продуктивності. На молочно-товарній фермі їх використовують як самостійну концентровану суміш, як складову повнораціонної кормосуміші або як додаткову індивідуальну порцію для високопродуктивних корів. Ефективність такого використання залежить не тільки від рецепту, а й від якості підготовки компонентів, точності дозування та рівномірності змішування.

До складу концентрованих кормів можуть входити подрібнене зерно кукурудзи, ячменю, пшениці, вівса, гороху, соєвий або соняшниковий шрот, макуха, висівки, кормові дріжджі, мінеральні добавки, премікси, сіль і крейда. Кожний компонент має різну насипну щільність, вологість, крупність частинок і сипкість. Через це під час зберігання та вивантаження можливі зависання, розшарування або нерівномірна подача. Для забезпечення стабільної якості готової суміші технологічна лінія повинна враховувати ці властивості матеріалів.

## 1.2. Вимоги до технології приготування концентрованих кормів

Технологія приготування концентрованих кормів повинна забезпечувати збереження поживної цінності сировини, очищення від сторонніх домішок, оптимальну крупність помелу, точне дозування за рецептом, рівномірне змішування та безпечність готового корму. Типова технологічна послідовність включає приймання компонентів, їх зберігання у бункерах або складах, очищення, подрібнення, дозування, змішування, проміжне накопичення та

видачу до лінії роздавання. Найбільший вплив на фактичний склад суміші мають операції дозування і змішування, тому вони потребують найбільшої уваги при проектуванні кормоцеху.

Вимоги до подрібнення залежать від виду зерна, віку та продуктивності тварин, а також від загальної структури раціону. Надмірно грубі частинки гірше перетравлюються, а занадто дрібний помел збільшує запиленість, втрати корму та ризик порушення рубцевого травлення. Не менш важливо забезпечити точне введення малих компонентів, оскільки премікси й мінеральні добавки займають невелику частку у рецепті, але істотно впливають на здоров’я та продуктивність тварин. Отже, технологія має забезпечувати сталість рецептури від партії до партії.

### 1.3. Основні технологічні схеми приготування концентрованих кормів

У тваринництві використовують кілька схем забезпечення ферм концентрованими кормами. Найпростішою є закупівля готового комбікорму промислового виробництва. Такий варіант зручний для господарств, які не мають власного обладнання для подрібнення і змішування. Його перевагами є стабільна рецептура, контроль якості на комбікормовому заводі та менші вимоги до персоналу ферми. Недоліками є залежність від постачальника, транспортні витрати, вища ціна і складність оперативної зміни рецепту відповідно до якості власних об’ємних кормів.

Більш гнучкою є схема власного приготування концентрованої суміші у господарстві. У цьому випадку ферма використовує власне зерно та закуплені добавки, а технологічна лінія включає дробарку, бункери, дозатори, змішувач і транспортне обладнання. Такий підхід дає змогу знизити собівартість корму, швидко змінювати рецепти та краще використовувати місцеву сировинну базу. Разом з тим він потребує надійних дозаторів, належної організації зберігання компонентів і регулярного контролю однорідності суміші.

На молочно-товарних фермах концентрати часто вводять до повнораціонної кормосуміші TMR або використовують у системі частково змішаного раціону PMR. При TMR усі компоненти раціону змішуються в одному кормозмішувачі-роздавачі, що забезпечує однаковий склад кожної порції корму. При PMR основна суміш видається групі тварин, а додаткова кількість концентратів може згодовуватися індивідуально через автоматичні станції або доїльні роботи. Для високопродуктивних стад PMR є перспективною схемою, оскільки дозволяє точніше враховувати індивідуальну продуктивність корів.

### 1.4. Технічні засоби дозування та змішування сухих компонентів

Дозування сухих компонентів виконують об’ємним, ваговим або комбінованим способом. Об’ємні дозатори простіші та дешевші, але їх точність залежить від насипної щільності, вологості та сипкості матеріалу. До них належать шнекові, барабанні, лопатеві, тарілчасті, стрічкові та вібраційні дозатори. Вагові дозатори забезпечують вищу точність, адже контролюють фактичну масу порції, проте вони складніші за конструкцією і потребують електронної системи керування. Комбіновані системи поєднують безперервну подачу робочим органом із ваговим контролем.

Шнекові дозатори широко застосовують для зернових сумішей, комбікормів і гранульованих кормів. Вони компактні, зручні для герметичного транспортування та дозволяють регулювати продуктивність зміною частоти обертання. Їх недоліками є можливе ущільнення матеріалу, пульсація подачі, подрібнення крихких гранул і зменшення точності при роботі з компонентами, схильними до злежування. Барабанні та коміркові дозатори придатні для сипучих матеріалів зі стабільними властивостями, але потребують рівномірного заповнення комірок. Вібраційні дозатори забезпечують плавну подачу, однак чутливі до вологості та неоднорідності частинок.

Змішування концентрованих кормів виконують у горизонтальних, вертикальних, лопатевих, стрічкових, шнекових або барабанних змішувачах.

Якість змішування визначається рівномірністю розподілу компонентів у всьому об’ємі. На цей показник впливають порядок завантаження, тривалість циклу, швидкість робочих органів, різниця у щільності компонентів і крупність частинок. Якщо змішування надто коротке, малі добавки розподіляються нерівномірно; якщо надто довге, можливе розшарування суміші та зайві енерговитрати. Тому дозатор і змішувач повинні працювати узгоджено.

### 1.5. Досвід країн Європейського Союзу

У країнах Європейського Союзу технології приготування концентрованих кормів розвиваються у напрямі безпечності, автоматизації, простежуваності та точного управління годівлею. За даними FEFAC, промислове виробництво комбікормів у ЄС залишається одним із найбільших у світі: у 2024 році воно оцінювалося приблизно у 147 млн т, а прогноз на 2025 рік становив близько 146,1 млн т. Виробництво кормів для великої рогатої худоби у 2025 році прогнозувалося на рівні 41,285 млн т, що підтверджує важливість галузі навіть за умов екологічних обмежень та структурних змін у тваринництві [1; 2].

Європейська практика значною мірою базується на нормативному регулюванні безпечності кормів. Регламент ЄС 183/2005 встановлює вимоги до гігієни кормів на всіх етапах виробництва, передбачає реєстрацію операторів кормового бізнесу, застосування принципів HACCP і належних практик у виробництві та використанні кормів. Правила обігу кормових матеріалів і комбікормів визначаються Регламентом 767/2009 [3; 4]. Для молочно-товарної ферми це означає, що кормоцех має забезпечувати не лише продуктивність, а й чистоту обладнання, контроль залишків, недопущення перехресного забруднення та можливість простежити походження компонентів.

На фермах Нідерландів, Данії, Німеччини, Франції, Швеції та Польщі поширюються автоматизовані кормові кухні, програмовані дозатори, електронні вагові системи, транспортери, роботизовані роздавачі та індивідуальні станції видачі концентратів. Такі рішення зменшують ручну працю, підвищують повторюваність технологічних операцій, дозволяють

частіше поновлювати корм на кормовому столі й точніше обліковувати споживання. Проте європейський досвід показує, що автоматизація ефективна лише за умови стабільної роботи основних механізмів, особливо дозаторів сухих компонентів.

Важливим напрямом є прецизійна годівля. Її сутність полягає у коригуванні кількості концентратів відповідно до надоїв, живої маси, фази лактації та стану тварини. Дослідження INRAE розглядають індивідуалізовану стратегію, за якої додаткова порція концентрату змінюється щотижня відповідно до динаміки живої маси корови [5]. Інші дослідження щодо автоматичної подачі концентратних преміксів показують, що така технологія може підтримувати продуктивність і водночас впливати на ефективність використання поживних речовин, зокрема азоту [6]. Отже, точне дозування концентратів є не тільки технічною, а й економічною та екологічною вимогою.

### 1.6. Порівняльна характеристика існуючих технологій

Порівняння технологій показує, що вибір схеми залежить від розміру стада, продуктивності корів, наявності власного зерна, рівня механізації та фінансових можливостей господарства. Для невеликих ферм доцільним може бути використання готових комбікормів. Для середніх і великих молочно-товарних підприємств більш ефективним є власне приготування концентрованих сумішей, оскільки воно забезпечує гнучкість рецептури та зменшує залежність від зовнішніх постачальників.

Найбільш відповідальною операцією у власному кормоцеху є дозування компонентів. Помилки на цьому етапі не можна повністю виправити подальшим змішуванням, адже фактична кількість компонента вже відрізнятиметься від рецептурної. Особливо це стосується дорогих білкових, мінеральних і вітамінних добавок. Тому дозатор сухих компонентів повинен мати просте регулювання, стабільну подачу, здатність працювати з матеріалами різної сипкості та конструктивні засоби запобігання зависанню корму в бункері.

Таблиця 1.1 – Порівняння технологічних схем приготування концентрованих кормів

| Схема | Переваги | Недоліки | Доцільність |
|---|---|---|---|
| Готовий комбікорм | Стабільна якість, мінімум обладнання | Вища ціна, залежність від постачальника | Малі ферми |
| Власний кормоцех | Гнучкий рецепт, використання власного зерна | Потреба у точних дозаторах і контролі | Середні та великі ферми |
| TMR | Однакова суміш для групи тварин | Потреба у правильному групуванні | Групова годівля |
| PMR + індивідуальні концентрати | Точніше врахування продуктивності | Складніше керування | Високопродуктивні стада |

### 1.7. Обґрунтування напряму удосконалення технології

Аналіз існуючих технологій свідчить, що підвищення ефективності приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі доцільно здійснювати шляхом удосконалення вузла дозування сухих компонентів суміші. Саме дозування визначає рецептурну точність, впливає на однорідність змішування і формує передумови для стабільної годівлі тварин. Для сухих компонентів характерні різні фізико-механічні властивості, тому робочий орган дозатора має забезпечувати рівномірне надходження матеріалу за різного рівня заповнення бункера.

Перспективним є дозатор, який поєднує регульовану подачу з механічним руйнуванням склепінь та розпушуванням матеріалу в зоні вивантаження. Це дає змогу зменшити пульсацію потоку, підвищити стабільність роботи лінії, скоротити потребу в ручному втручанні оператора і знизити втрати дорогих добавок. Врахування досвіду Європейського Союзу підтверджує, що модернізація кормоцеху повинна бути спрямована не лише на підвищення продуктивності, а й на точність, безпечність, простежуваність та ресурсоефективність виробництва кормів.

**Висновки по розділу**

Концентровані корми є важливим елементом раціонів молочної худоби, а якість їх приготування визначається точністю дозування, крупністю подрібнення, однорідністю змішування та безпечністю готової суміші.

Для молочно-товарних ферм із власною кормовою базою найбільш перспективною є технологія власного приготування концентрованих сумішей із застосуванням механізованих дозаторів і змішувачів.

Досвід Європейського Союзу показує, що сучасні кормові технології мають поєднувати автоматизацію, простежуваність, дотримання гігієнічних вимог, принципи HACCP і точне управління годівлею.

Подальше удосконалення доцільно спрямувати на розробку дозатора сухих компонентів суміші, здатного забезпечити рівномірну подачу, запобігати зависанню корму в бункері та підвищувати якість готового концентрованого корму.

# РОЗДІЛ 2
# ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ НА МОЛОЧНО-ТОВАРНІЙ ФЕРМІ

## 2.1 Вихідні умови проєктування

Проєктування лінії приготування концентрованих кормів виконується для молочно-товарної ферми, де годівля корів здійснюється за груповим принципом з урахуванням продуктивності тварин, фази лактації та фізіологічного стану. Концентровані корми у такій системі не розглядаються як самостійний корм, а є частиною збалансованого раціону, який доповнює основні об’ємні корми енергією, протеїном, мінеральними речовинами та біологічно активними добавками. Якість приготування суміші безпосередньо впливає на споживання корму, стабільність молочної продуктивності, витрати кормів на одиницю продукції та стан здоров’я тварин.

Основним завданням розділу є обґрунтування складу та параметрів технологічної лінії, яка забезпечує підготовку, подрібнення, дозування, змішування і подачу сухих компонентів концентрованої кормової суміші. При цьому особливу увагу приділено вузлу дозування, оскільки саме він визначає точність введення компонентів і сталість рецептури. У проєктованій лінії передбачено використання розробленого у третьому розділі дозатора сухих компонентів суміші, який поєднує дозувальний орган, обрушувач склепінь і подачу матеріалу в завантажувальний шнек.

Для виконання розрахунків прийнято умовну молочно-товарну ферму на 200 корів. Таке поголів’я є типовим для середньої ферми, де доцільно застосовувати окремий кормоцех або спеціалізовану дільницю для підготовки концентрованих кормів. Приготування суміші передбачається здійснювати один раз на добу з можливістю коригування рецептури за групами тварин. Тривалість роботи лінії приймаємо 2 години на добу, що дає змогу уникнути перевантаження обладнання та залишити резерв часу для технічного обслуговування, очищення і переналагодження.

До лінії висуваються такі технологічні вимоги: забезпечення стабільної продуктивності відповідно до добової потреби ферми; рівномірне подрібнення зернових компонентів; точне дозування основних і малих компонентів; отримання однорідної суміші; мінімізація втрат корму та пиловиділення; зручність очищення, ремонту й обслуговування обладнання. Особливо важливим є запобігання зависанню сухих сипучих компонентів у бункерах, оскільки макуха, висівки, мінеральні добавки та премікси мають різні фізико-механічні властивості і можуть утворювати склепіння над вивантажувальними отворами.

### 2.2 Вибір технологічної схеми лінії

Для умов молочно-товарної ферми раціонально застосувати потоково-порційну технологію приготування концентрованих кормів. Її сутність полягає в тому, що окремі компоненти зберігаються в ізольованих ємностях, за потреби проходять підготовку, після чого дозуються відповідно до рецепта, подаються у змішувач і видаються у кормороздавальний засіб або накопичувальну тару. Така схема є більш гнучкою, ніж безперервне змішування, оскільки дає можливість швидко змінювати рецептуру для різних груп корів.

Проєктована лінія складається з таких основних технологічних операцій: приймання і короткочасне зберігання сировини; очищення зерна від домішок; магнітне вилучення металевих включень; подрібнення зернової частини; оперативне накопичення підготовлених компонентів; дозування зернових, білкових і мінеральних компонентів; змішування; контроль якості суміші; подача готового корму до місця роздавання. Загальна схема руху матеріалу наведена на рис. 2.1.

На першому етапі зернові компоненти надходять у приймальний бункер, звідки через очисний пристрій і магнітний уловлювач подаються до дробарки. Подрібнення виконується до крупності, яка забезпечує достатню засвоюваність корму і водночас не призводить до надмірного утворення пилу. Білкові добавки, висівки та мінеральні компоненти можуть надходити у лінію без

додаткового подрібнення, але потребують стабільного дозування та захисту від злежування.




Рис. 2.1. Технологічна схема лінії приготування концентрованої кормової суміші

Розроблений дозатор сухих компонентів доцільно розміщувати перед завантажувальним шнеком змішувача. У цьому місці він виконує дві функції: забезпечує подачу компонента з бункера у визначеній кількості та одночасно руйнує склепіння у зоні вивантаження. Таке компонування зменшує кількість окремих механізмів, спрощує привід і підвищує надійність роботи лінії при використанні сипучих кормів різної вологості та насипної щільності.

### 2.3 Розрахунок добової потреби ферми в концентрованих кормах

Добова потреба у концентрованих кормах визначається за групами тварин. Для розрахунку поголів’я поділено на чотири технологічні групи: високопродуктивні корови на початку лактації, корови середньої продуктивності, корови наприкінці лактації та сухостійні тварини. Норма видачі концентратів приймається залежно від продуктивності і може уточнюватися зоотехнічною службою ферми. Розрахунок наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок добової потреби у концентрованих кормах

| Група тварин | Кількість голів | Норма концентратів, кг/гол. за добу | Добова потреба, кг |
|---|---|---|---|
| Високопродуктивні корови | 60 | 6,5 | 390 |
| Корови середньої продуктивності | 80 | 4,5 | 360 |
| Корови наприкінці лактації | 40 | 2,5 | 100 |
| Сухостійні корови | 20 | 1,0 | 20 |
| Разом | 200 | – | 870 |

Розрахункова добова потреба ферми у концентрованій кормовій суміші становить 870 кг. Для забезпечення технологічного резерву на випадок коливання продуктивності тварин, втрат під час транспортування та можливого збільшення норми видачі вводимо коефіцієнт запасу $k_з = 1{,}10$.

$$Q_{доб.р} = Q_{доб} \cdot k_з = 870 \cdot 1{,}10 = 957 \text{ кг/добу} = 0{,}957 \text{ т/добу}. \quad (2.1)$$

Отже, проєктована лінія повинна гарантовано забезпечувати приготування не менше 0,96 т концентрованих кормів за добу. За умови роботи протягом 2 годин необхідна середня годинна продуктивність становитиме:

$$Q_{год} = Q_{доб.р} / T = 0{,}957 / 2 = 0{,}479 \text{ т/год}. \quad (2.2)$$

З урахуванням нерівномірності подачі компонентів і необхідності мати резерв продуктивності приймаємо коефіцієнт нерівномірності kн = 1,2. Розрахункова продуктивність лінії дорівнює:

$$Q_л = Qгод \cdot kн = 0{,}479 \cdot 1{,}2 = 0{,}575 \text{ т/год}. \quad (2.3)$$

Для подальшого добору обладнання приймаємо продуктивність лінії 0,6 т/год. Це значення є достатнім для ферми на 200 корів і забезпечує можливість збільшення добової потреби у концентрованих кормах без повної заміни обладнання.

### 2.4 Рецептура суміші та матеріальний баланс компонентів

Склад концентрованої суміші залежить від наявної кормової бази господарства, продуктивності стада, якості силосу й сінажу, а також від прийнятої системи годівлі. Для проєктного розрахунку приймаємо орієнтовну

рецептуру, яка містить енергетичні, протеїнові та мінеральні компоненти. Рецептура може коригуватися після лабораторного аналізу кормів, однак її структура дає змогу визначити навантаження на окремі вузли лінії.

Матеріальний баланс компонентів для розрахункової продуктивності 0,6 т/год наведено в таблиці 2.2. Для кожного компонента визначено масову частку у суміші та його витрату за годину роботи лінії.

Таблиця 2.2 – Рецептура та годинна витрата компонентів суміші

| Компонент | Частка у рецепті, % | Годинна витрата при $Q_л$ = 0,6 т/год, кг/год | Призначення у суміші |
|---|---|---|---|
| Ячмінь подрібнений | 30 | 180 | Енергетична основа раціону |
| Кукурудза подрібнена | 20 | 120 | Джерело крохмалю та енергії |
| Пшениця подрібнена | 15 | 90 | Підвищення поживності суміші |
| Пшеничні висівки | 15 | 90 | Клітковина, покращення структури |
| Соняшниковий шрот або макуха | 12 | 72 | Джерело протеїну |
| Соєвий шрот | 5 | 30 | Балансування протеїну |
| Мінерально-вітамінний премікс | 2 | 12 | Мікроелементи та вітаміни |
| Крейда, сіль та інші малі добавки | 1 | 6 | Мінеральне балансування |
| Разом | 100 | 600 | Готова концентрована суміш |

За наведеною рецептурою зернові компоненти становлять 65 % маси суміші, тобто 390 кг/год. Саме ця частина потребує обов’язкового подрібнення. Інші компоненти подаються до змішувача через оперативні бункери та дозувальні пристрої. Для малих компонентів бажано передбачати окремий бункер і більш точне дозування, оскільки похибка їх введення значно сильніше впливає на поживність і безпечність готового корму.

Маса однієї порції суміші залежить від місткості змішувача і тривалості циклу. При прийнятій продуктивності 600 кг/год та циклі змішування 15 хвилин кількість циклів становить 4 за годину. Маса однієї порції дорівнює:

$$m_п = Q_л / z = 600 / 4 = 150 \text{ кг}. \quad (2.4)$$

Отже, лінія може працювати у порційному режимі з приготуванням 150 кг суміші за один цикл. Такий обсяг зручний для контролю рецептури, знижує ризик перевантаження змішувача і дає змогу оперативно змінювати склад корму для окремих груп тварин.

### 2.5 Розрахунок місткості бункерів і змішувача

Оперативне зберігання компонентів має забезпечувати безперервну роботу лінії протягом зміни і одночасно не створювати надмірних запасів у кормоцеху. Для зернової сировини доцільно передбачати складське зберігання у силосах або засіках, а в лінії встановлювати лише оперативні бункери над дробаркою та дозувальними вузлами.

Загальна місткість запасу концентрованих кормів на 10 діб визначається за формулою:

$$Vз = (Q_{доб.р} \cdot t_з) / (\rho \cdot \varphi_з), \quad (2.5)$$

де $Q_{доб.р}$ – розрахункова добова потреба, кг/добу; $t_з$ – тривалість запасу, діб; $\rho$ – середня насипна щільність компонентів, кг/м³; $\varphi_з$ – коефіцієнт заповнення ємності.

Приймаємо $t_з = 10$ діб, $\rho = 550$ кг/м³, $\varphi з = 0,85$. Тоді:

$$V_з = (957 \cdot 10) / (550 \cdot 0,85) = 20,5 \text{ м}^3. \quad (2.6)$$

Таким чином, для ферми доцільно передбачити сумарний складський об’єм не менше 21 м³. Він може бути розподілений між зерновими засіками, бункерами для шротів, висівок і premіксів. Оперативні бункери безпосередньо у складі лінії приймаються меншої місткості, оскільки вони поповнюються зі складу за потреби.

Місткість змішувача визначається за масою порції та насипною щільністю суміші:

$$V_м = m_п / (\rho_с \cdot \varphi_м), \quad (2.7)$$

де $\rho_с = 500$ кг/м³ – середня насипна щільність готової суміші; $\varphi_м = 0,75$ – коефіцієнт заповнення змішувача.

$$V_м = 150 / (500 \cdot 0{,}75) = 0{,}40 \text{ м}^3. \quad (2.8)$$

З урахуванням технологічного резерву приймаємо горизонтальний лопатевий або шнеково-лопатевий змішувач місткістю 0,5–0,6 м³. Така місткість забезпечить роботу без перевантаження і дасть можливість приготування порцій до 180–220 кг залежно від рецептури.

### 2.6 Підбір основного обладнання лінії

Склад обладнання визначається прийнятою технологічною схемою, розрахунковою продуктивністю 0,6 т/год та необхідністю інтегрувати розроблений дозатор сухих компонентів. Перевагу слід надавати простим за конструкцією машинам, які можуть обслуговуватися персоналом ферми і не потребують складного сервісу. Перелік рекомендованого обладнання наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основне обладнання проєктованої лінії

| № | Назва обладнання | Основне призначення | Рекомендована характеристика |
|---|---|---|---|
| 1 | Приймальний бункер | Приймання зерна та сипучих компонентів | Місткість 0,5–1,0 м³ |
| 2 | Зерноочисна машина | Вилучення крупних і дрібних домішок | Продуктивність не менше 1 т/год |
| 3 | Магнітний уловлювач | Захист дробарки і змішувача від металевих включень | Встановлення перед дробаркою |
| 4 | Дробарка зерна | Подрібнення ячменю, кукурудзи, пшениці | Продуктивність 0,8–1,0 т/год, потужність 5,5 кВт |
| 5 | Оперативні бункери | Накопичення підготовлених компонентів | Окремі ємності для зерна, висівок, шротів і premіксів |
| 6 | Розроблений дозатор сухих компонентів | Точне дозування і руйнування склепінь у бункері | Привід 1,1 кВт, регулювальна заслінка, лопаті-гребінки |
| 7 | Горизонтальний змішувач | Отримання однорідної суміші | Місткість 0,5–0,6 м³, потужність 3 кВт |
| 8 | Завантажувальний і вивантажувальний шнеки | Транспортування компонентів і готової суміші | Діаметр 160 мм, продуктивність понад 0,6 т/год |
| 9 | Аспіраційний або пиловловлювальний вузол | Зменшення запиленості робочої зони | Місцеве відсмоктування у зоні дробарки |
| 10 | Блок керування | Пуск, зупинка, блокування та контроль послідовності операцій | Ручний або напівавтоматичний режим |

Дробарка приймається з продуктивністю, що перевищує потребу лінії, оскільки подрібненню підлягає лише зернова частина суміші. Її годинне навантаження становить 390 кг/год, тому машина продуктивністю 0,8–1,0 т/год матиме достатній резерв і працюватиме без перевантаження. Змішувач добирається за місткістю порції, а шнеки – за максимальною годинною продуктивністю всієї лінії.

Розроблений дозатор доцільно застосовувати для тих компонентів, які мають схильність до нерівномірного витікання: висівок, шротів, макухи, подрібненого зерна з підвищеною вологістю, а також сухих компонентів суміші, що злежуються під час зберігання. Його конструкція передбачає циліндроконічну ємність, пруткову спіраль зі змінним діаметром і кроком, лопаті з пальцями-гребінками та направляючий рукав із регулювальною заслінкою. Завдяки цьому забезпечується не лише дозування, а й розпушування матеріалу у зоні випуску.

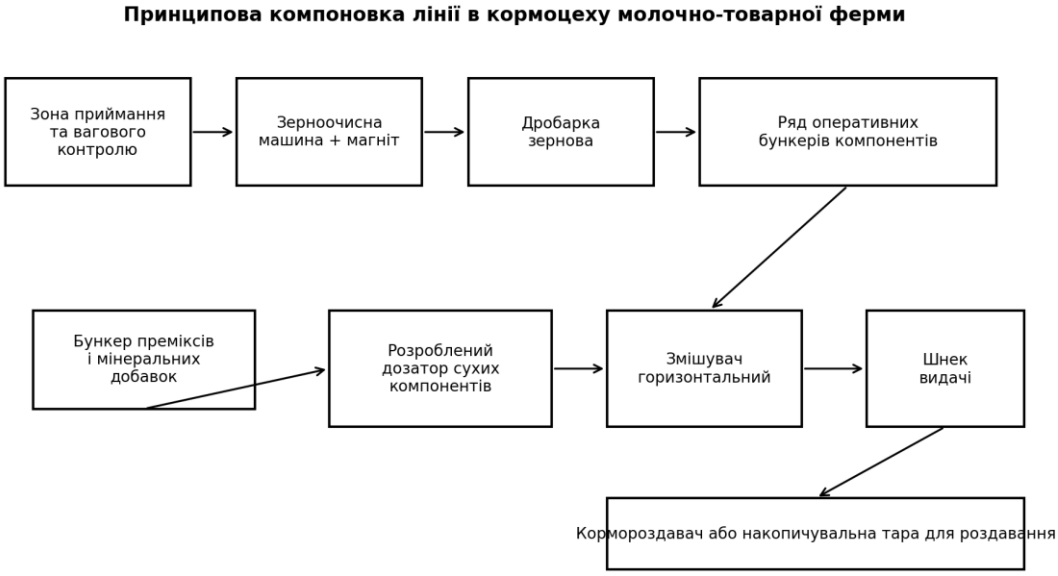



Рис. 2.2. Принципова компоновочна схема обладнання лінії

## 2.7 Розрахунок продуктивності транспортуючих органів

Для переміщення подрібнених компонентів і готової суміші у проєкті приймаються шнекові транспортери. Вони мають компактну конструкцію, добре поєднуються з бункерами і змішувачем, можуть працювати у закритому

кожусі та зменшують втрати корму. Орієнтовну продуктивність горизонтального шнека визначаємо за залежністю:

$$Q_ш = 47{,}1 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi, \quad (2.9)$$

де D – діаметр шнека, м; S – крок гвинтової поверхні, м; n – частота обертання, хв$^{-1}$; ρ – насипна щільність матеріалу, т/м$^3$; ψ – коефіцієнт заповнення жолоба.

Приймаємо D = 0,16 м, S = 0,12 м, n = 100 хв$^{-1}$, ρ = 0,50 т/м$^3$, ψ = 0,25. Тоді:

$$Q_ш = 47{,}1 \cdot 0{,}16^2 \cdot 0{,}12 \cdot 100 \cdot 0{,}50 \cdot 0{,}25 = 1{,}81 \text{ т/год.} \quad (2.10)$$

Отримане значення перевищує розрахункову продуктивність лінії 0,6 т/год, тому шнек діаметром 160 мм забезпечує необхідний резерв. Для малих компонентів може застосовуватися шнек меншого діаметра або дозувальний орган із регульованим перерізом випускного вікна.

Швидкість роботи лінії визначається не максимальною продуктивністю окремого транспортера, а узгодженістю всіх операцій: подрібнення, дозування, змішування і вивантаження. Тому у системі керування необхідно передбачити блокування, яке не дозволяє вмикати подачу компонентів до моменту готовності змішувача прийняти нову порцію.

## 2.8 Інтеграція розробленого дозатора сухих компонентів у технологічну лінію

Розроблений у третьому розділі дозатор є ключовим елементом проєктованої лінії, оскільки саме він забезпечує стабільну подачу сухих компонентів із бункера до завантажувального шнека. Його доцільно встановити під оперативним бункером відповідного компонента. Вихід дозатора через направляючий рукав з’єднується із завантажувальним шнеком, який подає матеріал у змішувач.

Особливістю дозатора є поєднання двох рухів робочого органу. Пруткова спіраль, розташована всередині циліндроконічної ємності, виконує обертальний і зворотно-поступальний рух. Такий рух створює розпушувальну дію у

найбільш небезпечній зоні бункера, де зазвичай утворюються склепіння сипучого корму. Одночасно лопаті з пальцями-гребінками переміщують матеріал до вікна направляючого рукава. Подача регулюється ступенем відкриття заслінки, що дає змогу змінювати витрату без заміни робочих органів.

У складі лінії дозатор виконує такі функції: дозоване вивантаження компонента; вирівнювання потоку матеріалу перед шнеком; руйнування склепінь і злежаних зон; зменшення тиску кормового стовпа на лопаті; зниження енерговитрат на переміщення корму. За рахунок використання спільного приводу з відвантажувальним шнеком скорочується кількість електродвигунів і спрощується система керування.

Для забезпечення роботи дозатора в автоматизованому режимі рекомендується застосовувати датчик рівня у бункері, кінцевий вимикач положення заслінки та таймер дозування або ваговий контроль порції. Для основних компонентів допустиме дозування за часом роботи дозатора після попереднього калібрування. Для premіксів і мінеральних добавок доцільно використовувати ваговий контроль, оскільки їх частка у рецепті невелика, а відхилення може негативно впливати на якість суміші.




Рис. 2.3. Схема керування дозуванням сухих компонентів.

### 2.9 Розрахунок встановленої потужності лінії

Встановлена потужність лінії визначається як сума потужностей основних електроприводів. У розрахунку враховуємо дробарку, змішувач, шнекові транспортери, розроблений дозатор, аспіраційний вузол і допоміжні механізми. Орієнтовні значення наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Орієнтовна встановлена потужність електроприводів.

| Обладнання | Кількість | Потужність одного приводу, кВт | Сумарна потужність, кВт |
|---|---|---|---|
| Дробарка зерна | 1 | 5,5 | 5,5 |
| Горизонтальний змішувач | 1 | 3,0 | 3,0 |
| Завантажувальний шнек | 1 | 1,1 | 1,1 |
| Вивантажувальний шнек | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Розроблений дозатор сухих компонентів | 1 | 1,1 | 1,1 |
| Аспіраційний вузол | 1 | 0,75 | 0,75 |
| Допоміжні механізми і автоматика | 1 | 0,3 | 0,3 |
| Разом | – | – | 13,25 |

Не всі електроприводи працюють одночасно з повним навантаженням. Тому для оцінки фактичного споживання електроенергії вводимо коефіцієнт одночасності $k_о = 0,70$:

$$P_{роб} = P_{вст} \cdot k_о = 13,25 \cdot 0,70 = 9,28 \text{ кВт}. \quad (2.11)$$

Добове споживання електроенергії за тривалості роботи 2 години становитиме:

$$E_{доб} = P_{роб} \cdot T = 9,28 \cdot 2 = 18,56 \text{ кВт·год}. \quad (2.12)$$

Питома витрата електроенергії на приготування 1 т суміші:

$$e = E_{доб} / Q_{доб.р} = 18,56 / 0,957 = 19,4 \text{ кВт·год/т}. \quad (2.13)$$

Отримане значення є прийнятним для малої кормоцехової лінії, оскільки значну частку енерговитрат становить подрібнення зерна. Зменшення питомих витрат можливе за рахунок використання сит з оптимальним діаметром отворів, роботи дробарки без холостого ходу та узгодженого керування всіма механізмами.

### 2.10 Організація роботи лінії та контроль якості суміші

Технологічний цикл приготування однієї порції концентрованої суміші включає підготовку компонентів, дозування, змішування і вивантаження. Орієнтовний цикл роботи наведено у таблиці 2.5. Його тривалість прийнята 15 хвилин, що відповідає продуктивності 600 кг/год при масі порції 150 кг.

Таблиця 2.5 – Орієнтовний цикл приготування однієї порції суміші

| Операція | Тривалість, хв | Зміст роботи |
|---|---|---|
| Підготовка та перевірка обладнання | 1,0 | Огляд лінії, перевірка положення заслінок і наявності компонентів |
| Дозування зернової частини | 3,0 | Подача подрібненого зерна згідно з рецептом |
| Дозування білкових і мінеральних компонентів | 3,0 | Робота дозатора сухих компонентів та малих дозаторів |
| Змішування | 5,0 | Рівномірне перемішування компонентів у змішувачі |
| Вивантаження готової суміші | 2,0 | Подача суміші шнеком у тару або кормороздавач |
| Контроль і підготовка до наступного циклу | 1,0 | Огляд, очищення залишків, запуск наступної порції |
| Разом | 15,0 | Повний цикл приготування 150 кг суміші |

Якість готової суміші оцінюється за трьома основними показниками: відповідність рецептурі, однорідність розподілу компонентів і відсутність сторонніх домішок. Для забезпечення рецептурної точності необхідно періодично калібрувати дозатори. Калібрування виконується шляхом вимірювання маси компонента, який подається за певний час при фіксованому положенні заслінки. За результатами калібрування складається таблиця налаштувань для кожного компонента.

Однорідність суміші забезпечується правильним порядком завантаження компонентів. Спочатку до змішувача доцільно подавати основні зернові компоненти, потім шроти і висівки, а після часткового перемішування – мінеральні добавки та премікси. Така послідовність зменшує ризик нерівномірного розподілу малих компонентів. Якщо у суміш вводяться

компоненти з дуже малою часткою, їх бажано попередньо змішувати з частиною висівок або подрібненого зерна.

Для підвищення надійності роботи лінії необхідно передбачити щоденне очищення зони дробарки, змішувача, дозатора і шнеків від залишків корму. Особливо важливо контролювати стан заслінки дозатора та пальців на лопатях, оскільки їх зношування може змінювати фактичну витрату компонента. Планове технічне обслуговування включає перевірку натягу ремінних передач, огляд підшипникових вузлів, очищення магнітного уловлювача і контроль стану електропроводки.

У результаті проєктування запропоновано лінію, яка відповідає добовій потребі молочно-товарної ферми у концентрованих кормах, забезпечує продуктивність 0,6 т/год і може працювати у порційному режимі. Включення розробленого дозатора сухих компонентів дає змогу підвищити стабільність подачі, зменшити ймовірність зависання матеріалу у бункері та забезпечити більш точне дотримання рецептури. Запропонована схема є придатною для подальшого конструктивного опрацювання дозатора, вибору електроприводів і розроблення заходів з охорони праці та економічного обґрунтування.

# РОЗДІЛ 3
# КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

## 3.1 Аналіз існуючих дозаторів сухих кормів

До концентрованих кормів належать зерно злакових і бобових культур, а також корми промислового виробництва (висівки, кормові добавки, макуха, шроти тощо). Найефективнішою формою використання концентрованих кормів і кормових добавок у тваринництві є комбікорми [6].

Комбікорми являють собою однорідну і складну суміш очищених і подрібнених різних кормових засобів, складених за науково розробленими рецептами з метою найбільш ефективного використання тваринами поживних речовин у раціоні. Для приготування кормів компоненти подрібнюють, дозують відповідно до рецепту і якісно змішують [8].

Лотковий вібраційний дозатор сипучих кормів за патентом № 2541379 (рис. 3.1) містить раму 1, розвантажувальний лоток 6, який оснащений регулювальною заслінкою 7, встановлений над ним накопичувальний бункер 5, закріплений на нерухомій опорі, пружинний шток 4, жорстко пов'язаний з розвантажувальним лотком і розташований з боку приводу, однофазний частотний перетворювач 3, вхід якого з'єднаний з мережею змінного струму, трифазний лінійний асинхронний двигун 2. Вторинним елементом трифазного лінійного асинхронного двигуна є підпружинений шток 4, жорстко пов'язаний з розвантажувальним лотком 6 і розташований з боку приводу. Одна обмотка трифазного лінійного асинхронного двигуна з'єднана з мережею змінного струму, а дві інші включені послідовно і з'єднані з виходом однофазного частотного перетворювача 3 [11].

Лотковий вібраційний дозатор сипучих кормів працює наступним чином. Вихідний кормовий матеріал засипають у бункер 5, звідки він надходить на розвантажувальний лоток 6, оснащений регулювальною заслінкою 7, який приводиться в коливальний рух трифазним лінійним асинхронним двигуном 2 і підпружиненим штоком 4, жорстко пов'язаним з розвантажувальним лотком 6 і

розташованим з боку приводу та є вторинним елементом трифазного лінійного асинхронного двигуна 2.

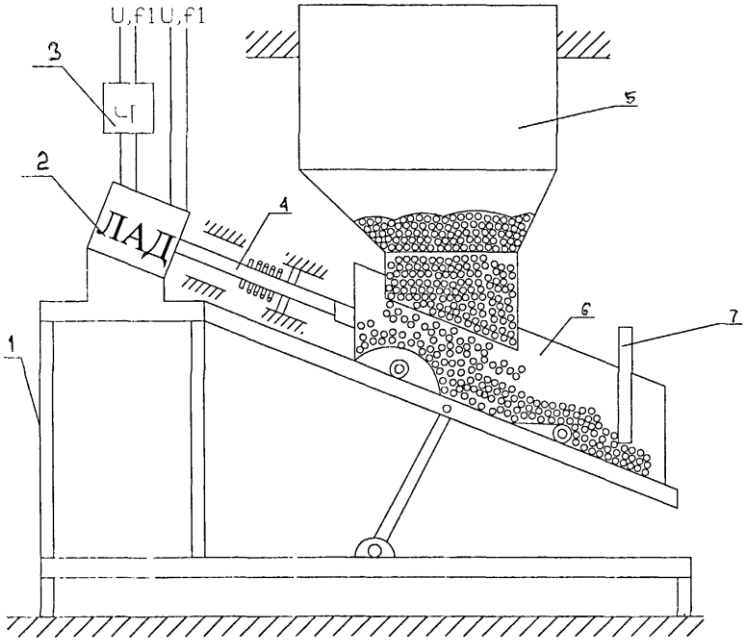



Рис. 3.1. Лотковий вібраційний дозатор за патентом № 2541379.

Під час переміщення під дією сил інерції, що виникають при коливанні розвантажувального лотка 6, сипучі корми, що надійшли з бункера 5, рухаються по розвантажувальному лотку до регулювальної заслінки, звідки виводяться назовні. Таким чином, після завершення процесу дозування сипучих кормів відбувається рівномірне дозування сипучих кормів, що знаходяться в бункері.

Дозатор за патентом № 2199772 (рис. 3.2) влаштований наступним чином. На нижньому кінці банки 1, відкритої донизу, телескопічно встановлена спідниця 2, зафіксована на банці гвинтом 3. Нижче спідниці 2, співвісно з останньою, встановлений диск 4, діаметр якого більший за діаметр спідниці. Диск 4 закріплений відносно банки 1 центральним стояком 5, з'єднаним з банкою трьома парами планок 6, що утворюють радіальні пази 7. При цьому на стояку 5 виконано ще ряд радіальних пазів 8, а на банці 1 — пазів 9, протилежних пазам 8. Дозатор оснащений знімними заслінками 10, при повній або частковій установці яких у певних (розрахованих) пазах 7, 8, 9 порожнина банки розділяється на сектори 11 у тих кількостях і співвідношеннях об'ємів, варіанти яких відповідають діапазону застосування дозатора. На закріпленій відносно банки 1 за допомогою кронштейна 12 підшипниковій опорі 13 змонтований порожнистий приводний вал 14, що

утворює горловину воронки, розтруб 15 якої охоплює з радіальним зазором 16 диск 4. На розтрубі 15 закріплені скребки 17, що взаємодіють з диском 4, перетинаючи його кромку. Скребки 17 утворені з хвостовиками 18, розміщеними під спідницею 2, висота яких менша за висоту ділянок скребків, розташованих зовні спідниці. Скребки 17 утворені по кривій, у кожній точці якої проведена радіальна пряма диска 4 і дотична до згаданої кривої утворюють між собою гострий кут, який більший за кут тертя між кормом (будь-яким, що використовується на дозаторі) і поверхнею скребка. А радіальні прямі "а" диска 4, проведені через кінці "b" хвостиків 18 одних скребків, проходять через точки "с" перетину сусідніх з ними скребків з кромкою диска. На заслінках 10 виконані вертикальні виступи 19, що спираються на центральну частину диска 4, обмежену окружністю, що проходить через кінці хвостиків 18. З приводним валом 14 пов'язаний механічною передачею 20 електродвигун 21. [12]

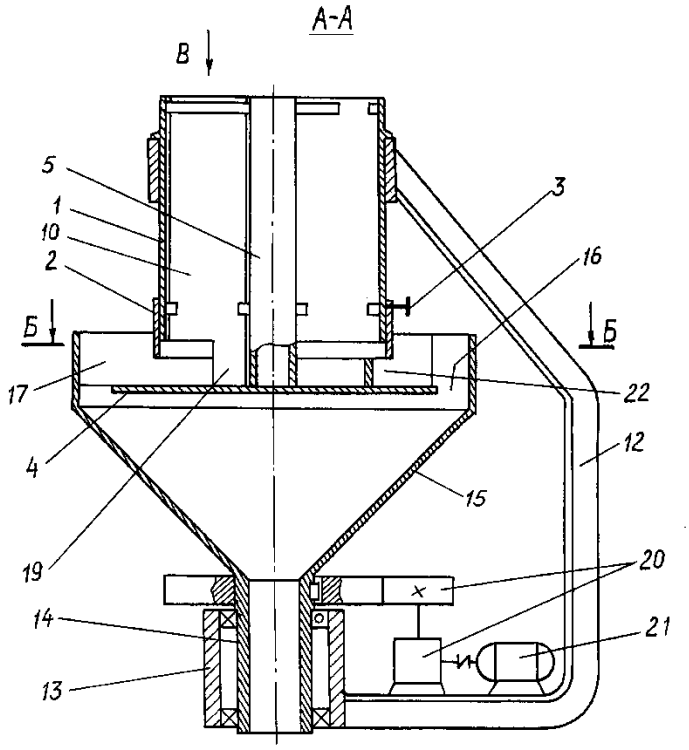



Рис. 3.2. Дозатор кормів за патентом № 2199772.

Дозатор працює наступним чином. На кресленні дозатор показаний при мінімально встановленій дозі подачі, при якій спідниця 2 зафіксована гвинтом 3 у нижньому положенні. Знімними заслінками 10 розділяють порожнину банки 1 на сектори 11, кількість яких і співвідношення об'ємів відповідають кількості та

пропорційному співвідношенню компонентів кормової суміші. Спідницю 2 фіксують на банці 1 у положенні, при якому висота вікон 22 між нижнім торцем спідниці та диском 4 відповідає необхідній дозі подачі кормової суміші. Засипають у сектори 11 компоненти кормової суміші, які розподіляються по диску 4 під відповідними секторами, а через вікна 22 порційно висипаються на периферію диска 4 під кутом природного ухилу компонентів. При увімкненому електродвигуні 21 скребки 17 зміщують сипучий корм до краю диска 4. В результаті цього з краю диска одночасно зсипаються всі компоненти корму у співвідношенні, заданому розмірами секторів банки. Зсипаючись з диска, компоненти безперервним потоком падають на обертовий розтруб 15 воронки. При зіткненні з розтрубом воронки та сповзанні по останньому компоненти корму перемішуються і дозовано висипаються з приводного вала 14 у вигляді кормової суміші заданого складу.

При цьому прохід хвостиків 18 під секторами 11 банки, що викликає осипання їх вмісту, підвищує надійність самовільного висипання компонентів через вікна 22 між спідницею 2 і диском 4. Питомий об'єм самовисипання є розрахунковою складовою дозування, тому наявність хвостиків 18 сприяє стабільності заданих пропорцій кормової суміші.

Продуктивність дозатора регулюється поздовжньою перестановкою спідниці і може змінюватися за рахунок частоти обертання вала.

Дозатор концентрованих кормів за патентом № 2060650 (малюнок 3.3) містить бункер 1 із встановленим у його нижній частині гвинтовим конвеєром 2, з'єднаним із механізмом його приводу 3. Дозатор містить також механізм зважування порції, що видається, та засіб кріплення механізму зважування. Засіб установки механізму зважування виконаний у вигляді набору планок 4, кожна з яких своїм верхнім кінцем закріплена на стінках бункера 1. Механізм зважування видаваної порції корму виконаний у вигляді хрестовини 5, що містить циліндричну втулку 6 і циліндричні ролики 7. Циліндричні ролики 7 одним своїм кінцем співвісно закріплені на бічній поверхні втулки 6 і розташовані в площині, перпендикулярній площині розміщення поздовжньої осі втулки 6. Хрестовина 5 своїми роликами 7 шарнірно встановлена в нижніх вільних кінцях планок 4 з

можливістю осьового повороту. Хрестовина 5 оснащена також врівноважувальним пристосуванням, яке виконано у вигляді спіральних пружин 8, встановлених на вільних кінцях роликів 7, та змінним резистором 9. Внутрішні кінці спіральних пружин 8 жорстко закріплені до вільних кінців роликів 7, а зовнішні — до вертикально встановлених планок 4. Корпус змінного резистора 9 жорстко з'єднаний з однією з вертикальних планок, а движок співвісно і жорстко з торцем одного з роликів 7. Змінний резистор 9 підключений до блоку управління видачею корму 10. [13]

У втулці 6 хрестовини 5 механізму зважування встановлений з можливістю осьового повороту вал 11 із закріпленою на одному його кінці ємністю 12. Вал 11 оснащений також приводом його осьового повороту та засобом повернення у вихідне положення. Привід осьового повороту вала 11 виконаний у вигляді ексцентрично встановленої на торці вільного його (вала 11) кінця осі 13, шарнірно з'єднаної з сердечником електромагніту 14, який (електромагніт 14) жорстко закріплений на втулці 6 хрестовини 5.

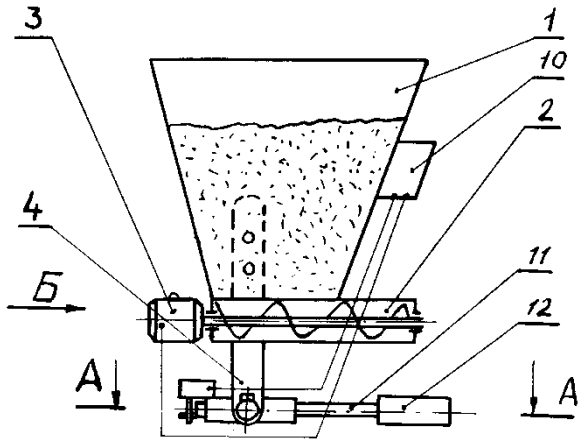



Рис. 3.3. Дозатор концентрованих кормів за патентом № 2060650.

Механізм (засіб) повернення вала 11 ємності 12 у вихідне положення виконаний у вигляді спіральної пружини 15, внутрішній кінець якої жорстко закріплений на валу 11, а зовнішній – на втулці 6.

Дозатор концентрованих кормів працює наступним чином.

При зупинці дозатора навпроти місця годування від передавача (транспондера) до приймача блоку керування видачею корму 10 надходить сигнал

на видачу певної маси (порції) корму в годівницю. Після цього з блоку управління видачею корму 10 подається команда на ввімкнення електродвигуна механізму приводу 3 гвинтового конвеєра 2. Концентрований корм із бункера 1 надходить у гвинтовий конвеєр 2, яким транспортується в ємність 12 механізму зважування видаваної порції корму, встановлену під конвеєром 2. При надходженні концентрованого корму в ємність 12 виникає крутний момент, який через вал 11 ємності 12, втулку 6 і ролики 7 хрестовини 5 впливає на спіральні пружини 8. Подолавши опір спіральних пружин 8, ємність 12 з валом 11 обертається навколо осей роликів 7 хрестовини 5. Разом з поворотом хрестовини 5 обертається і рухомий елемент змінного резистора 9, який співвісно і жорстко закріплений до торця одного з роликів 7. В результаті повороту рухомої частини змінного резистора 9 підведена напруга U1 змінюється на U2 і через компаратор DA1 блоку управління 10 порівнюється з напругою на його (блоку управління) вході Uвх, яка відповідає масі порції корму, що видається. При настанні рівності напруг U2 і Uвх на виході з компаратора DA1 утворюється нульовий сигнал Uвих, який стабілізується стабілітроном VD1 і подається в блок управління видачею корму 10. При надходженні нульового сигналу Uвих у блок управління 10 останній подає команди на відключення електродвигуна механізму приводу 3 гвинтового конвеєра 2 і на ввімкнення електромагніту 14. Після відключення електродвигуна механізму приводу 3 надходження концентрованого корму в ємність 12 припиняється, а електромагніт 14 через сердечник і вісь 13, долаючи опір спіральної пружини 15 механізму повернення, повертає вал 11 у площині, перпендикулярній площині повороту хрестовини 5. При цьому концентрований корм, що знаходиться в ємності 12, висипається в годівницю. Після висипання концентрованого корму з ємності 12 спіральні пружини 8 повертають хрестовину 5 у вихідне положення, а блок керування видачею корму 10 подає сигнал на відключення електромагніту 14. При цьому спіральна пружина 15 механізму повернення встановлює вал 11 з ємністю 12 також у вихідне положення.

Після переміщення дозатора до наступного місця годування в блок управління видачею корму 10 надходить новий сигнал на видачу певної порції корму, процес повторюється.

Встановлення механізму зважування порції корму, що видається, сприяє підвищенню точності дозування, тобто видачі концентрованого корму суворо відповідно до продуктивності та фізіологічного стану тварин. Розташування механізму зважування видаваної порції корму під гвинтовим конвеєром 2 дозволяє приймати корм від гвинтового конвеєра 2 та керувати його роботою відповідно до видачі необхідної маси корму, чим збільшити точність дозування.

Дозатор кормів за патентом № 2129781 (малюнок 3.4) включає циліндричний корпус 1 із завантажувальним 2 та вивантажувальним 3 вікнами, всередині корпусу встановлений з можливістю обертання горизонтальний барабан 4, який складається з двох усічених по секторах циліндрів 5, а вони, у свою чергу, утворюють комірки 7 та 6. Дозатор має можливість регулювати об'єм комірок 6 і 7. Це здійснюється за допомогою регулювальних гвинтів 8, які розташовані в стінках комірок 6 і 7. Горизонтальний барабан 4 встановлений на обертовий вал 9 за допомогою кілець 10 і зафіксований фланцями 11. Обертання здійснюється за допомогою радіальних штифтів 12.[14]

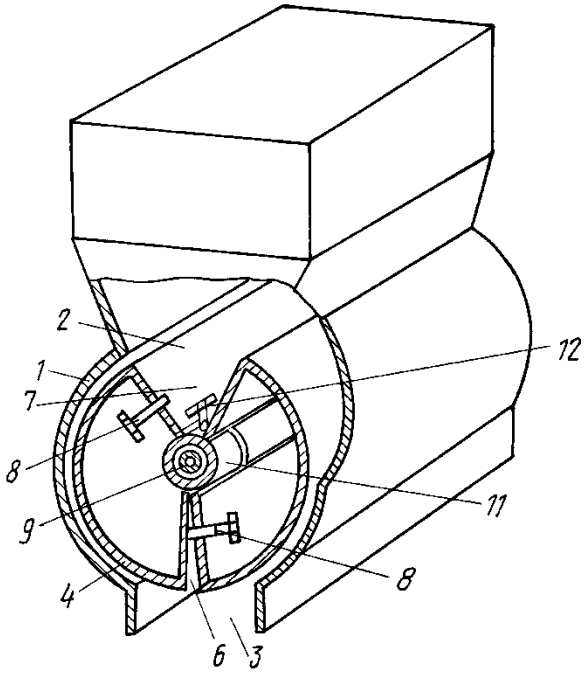



Рис. 3.4. Дозатор кормів за патентом № 2129781.

Дозатор кормів працює наступним чином. Обертання барабана 4, який складається з двох усічених по секторах циліндрів 5, здійснюється обертанням вала 9, його радіальні штифти 12, встановлені у фланці 11, які впливають на стінки усічених по секторах циліндрів 5.

На початку обертання барабана 4 завантажується комірка 7, розташована перед завантажувальним вікном 2. Далі барабан 4, переміщаючись у циліндричному корпусі 1, підводить комірку 1 з кормом до вивантажувального вікна 3, через яке корм вивантажується, видавлюючись стінками усічених по секторах циліндрів 5 і вивалюючись. А тим часом комірка 6, що підійшла до завантажувального вікна, розкривається і завантажується корм. Потім процес повторюється.

Зміна об'єму комірок забезпечується вкручуванням або викручуванням регулювальних гвинтів 8. Причому при вкручуванні останніх об'єм зменшується, при викручуванні збільшується.

Завдяки такому виконанню дозатора істотно спрощується його конструкція і підвищується надійність у роботі.

Дозатор-добавник сипучих кормів за патентом № 2170200 (рис. 3.5) включає в себе дозувальну камеру 1, встановлену під вивантажувальним отвором бункера 2 із заслінкою 3. У бічних стінках камери 1 змонтовані втулки 4, у яких встановлений вал 5 лопатевого дозатора 6 із закріпленими на ньому по відношенню до його поверхні чотирма взаємно перпендикулярними лопатями 7.

Поверхня лопатей має ребра 8 для кращого зчеплення з кормом. Розміри лопатей залежать від продуктивності дозатора.

Вал 5 лопатевого дозатора за допомогою клиноремінної передачі 9 з'єднаний з валом 10 лопатевого вентилятора 11, встановленого у втулках 12 горизонтально поперек повітровипускного отвору 13 вивантажувального транспортера 14, що веде від подрібнювача-змішувача кормів ІСК-3 15. Лопатевий вентилятор 11 встановлюється таким чином, щоб лопать, що знаходиться в нижньому положенні, наполовину перекривала по висоті простір між стрічкою транспортера 14 і

верхньою стінкою кожуха повітропроводу 13. Для регулювання частоти обертання вентилятора встановлена заслінка 16.

На валу 5 за допомогою шпонок встановлено два кулачки 17, з'єднані з хвилеподібними стрижнями 18. Верхні частини стрижнів обладнані пружинними клапанами 18, які забезпечують повернення стрижнів у вихідне положення. У нижній частині бункера 2 розташовані втулки з ущільнювачами 20. [15]

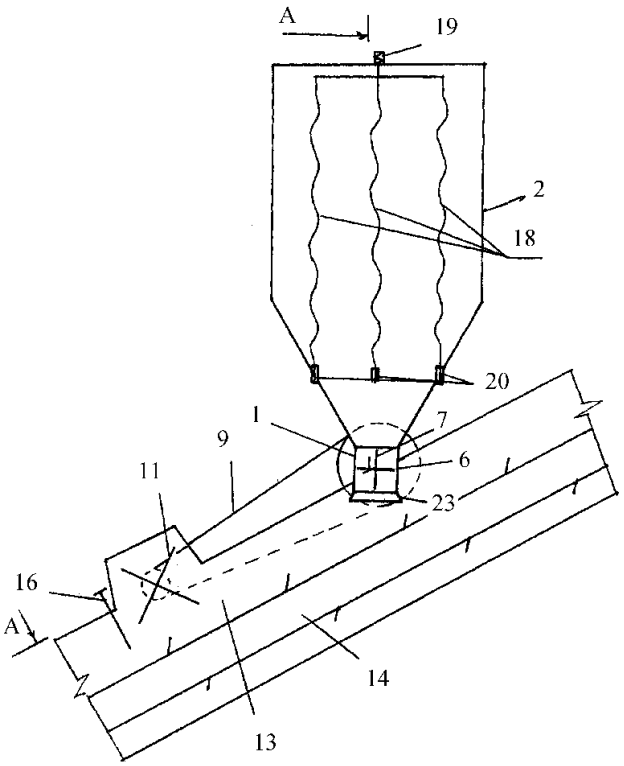



Рис. 3.5. Дозатор-добавник сипучих кормів за патентом № 2170200.

Пристрій працює наступним чином. При ввімкненні подрібнювача-змішувача ІСК-3 15 у нижній частині його робочої камери 21 виникає повітряний потік, що створюється лопатями розкидача 22. Рухаючись по транспортеру 14, потік впливає на лопать вентилятора 11, що перекриває (частково) перетин транспортера 13, що викликає обертання вентилятора 11. За допомогою клиноремінної передачі 9 обертальний момент від вентилятора 11 передається на вал дозатора 6. При цьому лопаті 7, закріплені на валу 5, захоплюють порції сипучого корму, що висипаються з вивантажувального вікна бункера 2, і переміщують їх до вивантажувального вікна дозатора 23.

Об’єм порції визначається розмірами вивантажувального отвору бункера 2, регулювання яких здійснюється за допомогою заслінки 3, частотою обертання та

розмірами лопатей 7 дозатора 6, а також фізико-механічними властивостями кормових компонентів, що додаються.

За допомогою ребер 8, розташованих на поверхні лопаті 7 з боку, що відповідає напрямку обертання, сипучий корм утримується на лопаті.

Водночас під час обертання вала 5 кулачки 17 надають стрижням 18 зворотно-поступальний рух. Рухаючись у вертикальному напрямку в масі сипучого корму, стрижні 18 викликають розпушення та часткове перемішування частинок корму, що запобігає утворенню згустків по всій висоті бункера 2 та забезпечує більш рівномірне надходження сипучого корму з бункера 2 до дозатора 6. Клапани 19 повертають стрижні-обрушувачі у вихідне положення та перешкоджають відхиленню стрижнів від вертикального положення.

Перевага пропонованого дозатора-збагачувача сипучих кормів полягає в простоті його конструкції, а також у тому, що без залучення додаткових енергетичних витрат відбувається рівномірна дозована подача сипучих кормових компонентів, відповідна подача стеблових кормів транспортером, а також супутнє розпушування сипучого корму та запобігання утворенню звідів, що забезпечує вищу однорідність сипучого корму та рівномірність його подачі.

### 3.2 Опис запропонованого пристрою дозування сухого корму

Дозатор сипучих кормів (рис. 3.6) включає в себе циліндроконічну ємність 1, всередині якої розташована пруткова спіраль 2 зі змінним діаметром і кроком по висоті пропорційно розмірам ємності бункера, жорстко пов'язану через втулку 3 фіксаторами з валом 4, що має на вільному кінці пряму та зворотну гвинтову нарізку, що дозволяє здійснювати йому зворотно-поступальний рух у гайці 5, жорстко закріпленій на ємності бункера-дозатора. Нижній кінець спіралі 2 жорстко з'єднаний через телескопічне з'єднання 6, що являє собою трубу з внутрішнім квадратним перерізом, вільно надіту на вертикальний вал конічного редуктора 7. На цьому валу жорстко закріплені лопаті 8 дозуючого пристрою, які оснащені пальцями 9, що мають різну довжину. Пальці мають вигляд гребінки, що наростає

від центру, і концентрично розташовані відносно осі обертання вертикального вала редуктора 7.

Пруткова спіраль 2 і лопаті 8 дозатора знаходяться на одній осі обертання, верхня частина спіралі 2 закріплена з можливістю регулювання по висоті за рахунок вищезгаданої втулки 3 з фіксаторами.

Привід спіралі 2 здійснюється через конічний редуктор 7, клиноремінну передачу 10 і муфту 11 від електродвигуна 12 відвантажувального шнека.

Дозування корму здійснюється лопатями 8 через вікно направляючого рукава 13 з регулювальною заслінкою 14 у завантажувальний шнек 15, який має привід через муфту 11 від електродвигуна 12.

Пристрій працює наступним чином. При ввімкненні відвантажувального шнека 15 у роботу від електродвигуна 12 через муфту 11 приводиться в дію у вигляді обертального та зворотно-поступального руху спіраль 2 через клиноремінну передачу 10, конічний редуктор 7 і телескопічне з'єднання 6, одночасно приводячи в обертання лопаті 8 дозатора, жорстко пов'язані з вертикальним валом редуктора 7. Зворотно-поступальний рух спіралі 2 відбувається за рахунок вала 4 і гайки 5, що мають пряму і зворотну гвинтову нарізку, тому хід спіралі 2 вгору і вниз обмежується довжиною нарізки на гайці 5, зміна висоти розташування спіралі 2 відносно лопатей 8 може здійснюватися через втулку 3 з фіксаторами.

При відкритій заслінці 14 лопаті 8 зсувають у вікно направляючого рукава 13 корм, який під дією сил гравітації падає через цей рукав у відвантажувальний шнек 15. Регулювання кількості дозованого корму здійснюється величиною відкриття заслінки 14.

Рівномірність дозування вивантажуваного корму забезпечується тим, що в зоні найбільш ймовірного утворення скупчення здійснює обертальний і зворотно-поступальний рух спіраль 2 зі змінюваним діаметром і кроком від верху до низу пропорційно конусності нижньої частини бункера-дозатора. Крім того, рівномірності дозування сприяють і концентрично розташовані пальці 9 лопатей-гребінок 8 на їх верхніх конусних і торцевих кромках.

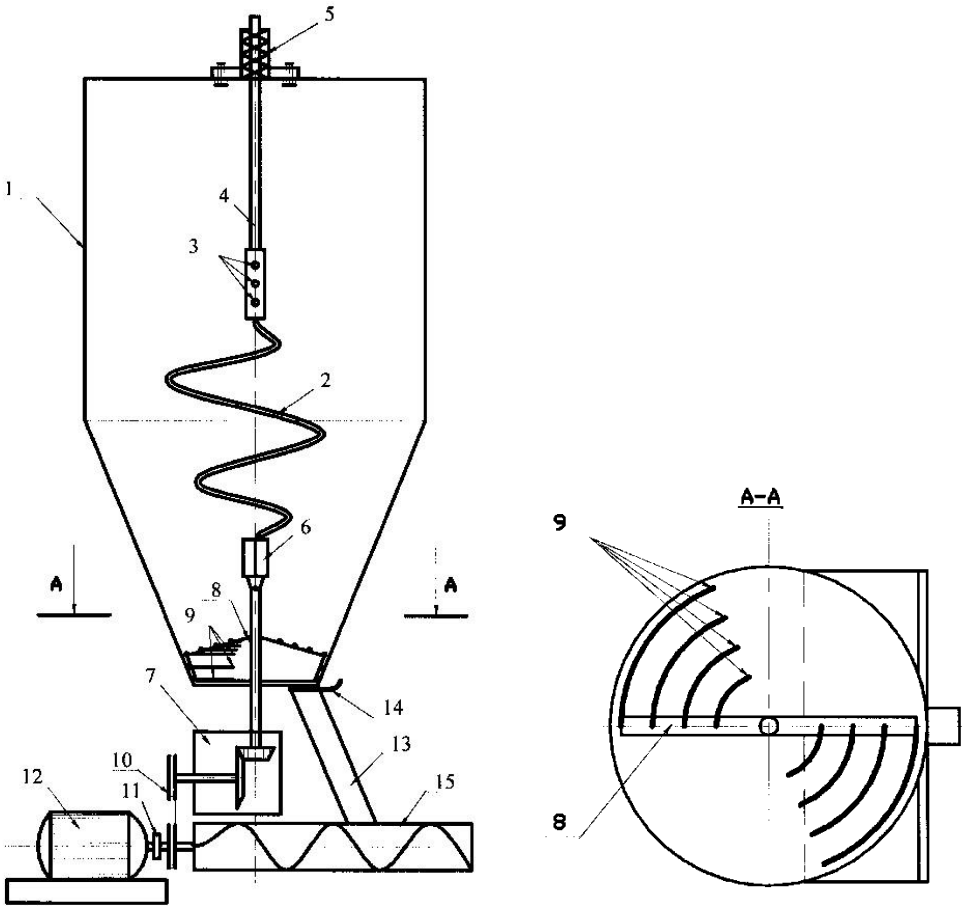



Рис. 3.6. Дозатор сипучих кормів.

Конусність і концентричність розташування пальців сприяють вирівнюванню тиску кормового стовпа над вивантажувальним вікном з одночасним руйнуванням і розпушуванням надлопатевого шару корму. Зрештою це призводить до зменшення тертя під час переміщення корму лопатями, а отже, і до зменшення енергоємності процесу дозування.

Перевага пропонованого бункера-дозатора сипучих кормів полягає в простоті конструкції за рахунок одночасного приводу відвантажувального шнека, лопатевого дозатора та обрушувача склепінь, у забезпеченні рівномірного дозованого вивантаження корму за рахунок постійного обрушення склепінь по всій товщі в ємності бункера, де знаходяться епіцентри утворення склепінь, та у зниженні енергоємності процесу дозування за рахунок перелопачування пальцями надлопатевого шару корму та зменшення вертикального й бічного тиску від стовпа корму на лопаті, а також за рахунок того, що верхня кромка лопатей виконана на конус, перпендикулярно до утворюючої конусної частини бункера

### 3.3 Розрахунок конструктивних параметрів дозатора

Радіус центру ваги перерізу дозованого матеріалу, м:[9]

$$R_O = R + \frac{h}{3 \cdot \tan\left(\phi \cdot \frac{3{,}14}{180}\right)}, \quad (3.1)$$

де R – внутрішній радіус кільця зніманого матеріалу, R=0,11 м

h – висота корму, що знімається з тарілки, h = 0,02 м

ϕ – кут природного ухилу матеріалу, ϕ = 45 град

$$R_O = 0{,}11 + \frac{0{,}02}{3 \cdot \tan\left(45 \cdot \frac{3{,}14}{180}\right)} = 0{,}61м$$

Площа перерізу матеріалу в кільцевому шарі, м$^2$

$$F_c = \frac{h^2}{2 \cdot \tan\left(\phi \cdot \frac{3{,}14}{180}\right)}, \quad (3.2)$$

$$F_c = \frac{0.02^2}{2 \cdot \tan\left(45 \cdot \frac{3{,}14}{180}\right)} = 0.011 \text{ м}^2$$

Об'єм зніманого матеріалу за оберт тарілки, м$^3$

$$Vc = 2 \cdot 3{,}14 \cdot R_O \cdot Fc, \quad (3.3)$$

$$Vc = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}61 \cdot 0{,}011 = 0{,}042 \text{ м}$$

Ширина шару матеріалу в кільцевому шарі, м:

$$B = \frac{F_c}{2 \cdot h}, \quad (3.4)$$

$$B = \frac{0.011}{2 \cdot 0.02} = 0{,}275м$$

Максимальна кутова швидкість матеріалу, при якій відсутнє самоскидання матеріалу, рад/с, м [9]:

$$\omega = \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot f}{R_O + B + a}}, \quad (3.5)$$

де а – запас радіуса тарілки, а=0,050 м

$f$ – коефіцієнт тертя матеріалу об тарілку, $f$ = 0,7

$$\omega = \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 0{,}7}{0{,}61 + 0{,}275 + 0{,}050}} = 2{,}7 \text{ рад/с}$$

Частота обертання тарілки $с^{-1}$

$$n = \frac{0.9 \cdot \omega}{2 \cdot 3.14}, \tag{3.6}$$

$$n = \frac{0.9 \cdot 2{,}7}{2 \cdot 3.14} = 0.38 \text{ с}^{-1}$$

Продуктивність дозатора, кг/с:

$$Q = Vc \cdot \frac{0.9 \cdot \omega}{2 \cdot 3.14} \cdot \rho, \tag{3.7}$$

де ρ – насипна щільність дозованого матеріалу, ρ = 500 кг/м$^3$

$$Q = 0.042 \cdot \frac{0.9 \cdot 2{,}7}{2 \cdot 3.14} \cdot 500 = 16{,}3 \text{ кг/с}$$

Сила, що витрачається на тертя матеріалу об тарілку, Н

$$F_T = 2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 \cdot R_o \cdot Fc \cdot f \cdot \rho, \tag{3.8}$$

$$F_T = 2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}61 \cdot 0{,}011 \cdot 0{,}7 \cdot 500 = 140 \text{ Н}$$

Потужність, що витрачається на привід, кВт

$$N = \frac{F_T \cdot R_o \cdot (0.9 \cdot \omega) \cdot \left[\left(1 + \cos\beta \cdot \frac{3.14}{180}\right) + K\right]}{1000 \cdot \eta}, \tag{3,9}$$

де β – кут нахилу скребка, β = 45 град.;

К – коефіцієнт, що враховує частку витрат потужності на холостому ходу, К=0,4;

η – ККД приводу, η = 0,8

$$N = \frac{140 \cdot 0{,}61 \cdot (0.9 \cdot 2{,}7) \cdot \left[\left(1 + \cos 45 \cdot \frac{3.14}{180}\right) + 0{,}4\right]}{1000 \cdot 0{,}8} = 0{,}62 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна, необхідна для виконання роботи мішалками, кВт;

$$P_{дв} = \frac{P_{ст} \cdot \kappa_з}{\eta_{пр}} \tag{3.10}$$

де $к_з$ – коефіцієнт запасу потужності, що враховує можливість пуску модульного агрегату під навантаженням, $к_з$ = 1,25…1,3;

$\eta_{пр}$ – ККД приводної станції

Коефіцієнт корисної дії приводної станції дорівнює:

$$\eta_{пр} = \eta_1 \cdot \eta_2^2 \tag{3.11}$$

де $\eta_1$ – ККД клиноремінної передачі, $\eta_1$ = 0,8…0,97;

$\eta_2$ – ККД підшипникового вузла, $\eta_2$ = 0,99.

$$\eta_{пр} = 0{,}8 \cdot 0{,}99^2 = 0{,}95$$

$$P_{дв} = \frac{0{,}98 \cdot 0{,}62}{0{,}95} = 0{,}68 \text{ кВт}$$

На підставі проведених розрахунків обираємо мотор-редуктор, що дозволяє підібрати необхідну частоту обертання мішалки. З каталогу підбираємо мотор-редуктор типу МЦ2С 63, оскільки він має частоту обертання вихідного вала 36 об/хв потужністю 1,1 кВт[16].

$$T = \frac{P}{\omega}, T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi \cdot n}. = 370 \text{ Н·м} \tag{3.12}$$

### 3.4 Розрахунок приводу дозатора кормів

Кінематична схема дозатора сухих компонентів зображена на рис. 3.7.

Визначимо передавальне відношення ремінної передачі [17];

$$\mathrm{i} = \frac{\mathrm{n}_{\text{дв}}}{\mathrm{n}}, \tag{3.17}$$

$$i = \frac{36}{30} = 1{,}2$$

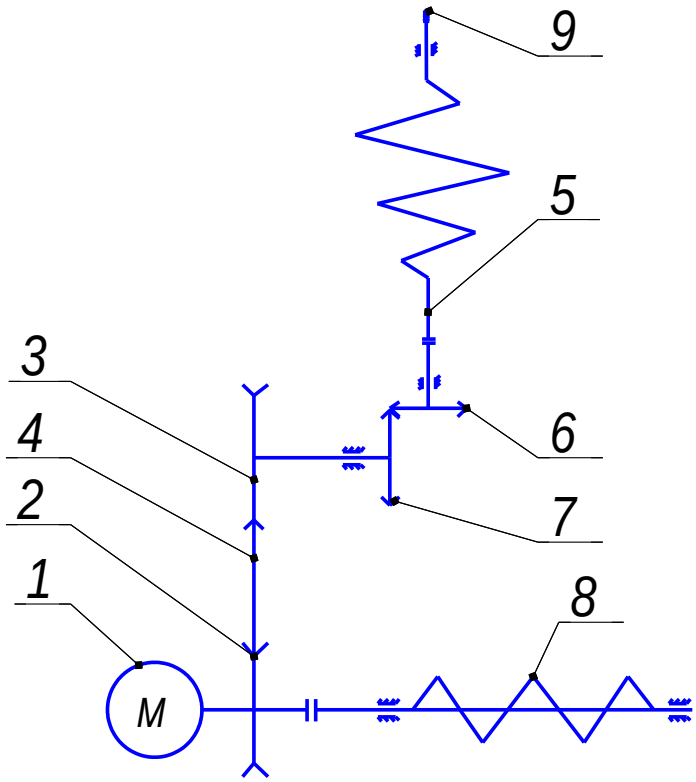



Рис. 3.7. Кінематична схема дозатора сухих компонентів суміші**:** 1 – мотор-редуктор; 2 – ведучий шків; 3 – ведений шків; 4 – ремінь; 5 – робочий орган; 6 – ведене зубчасте колесо; 7 – ведуче зубчасте колесо; 8 – шнек; 9 – пружина

За знайденим значенням переданої потужності $P_м$ = 1,1 кВт і частотою обертання вала електродвигуна $n_д$ =36 $хв^{-1}$ вибираємо за номограмою перетин клинового ременя А, з площею поперечного перерізу 81 $мм^2$ .

Діаметр ведучого шківа приймаємо рівним $d_1$ = 100 мм.

Діаметр веденого шківа визначимо за формулою:

$$d_2 = d_1 \cdot i \ , \qquad (3.13)$$

$$d_2 = 100 \cdot 1{,}2 = 120 \text{ мм}$$

Приймаємо найближче значення діаметра шківа зі стандартного ряду, $d_2$ = 125 мм.

Уточнюємо передавальне відношення;

$$i = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \xi)} \ , \qquad (3.14)$$

де $\xi$ – відносне ковзання, $\xi$ = 0,01.

$$i = \frac{125}{100 \cdot (1 - 0{,}01)} = 1{,}263$$

Максимальне та мінімальне значення міжосьової відстані дорівнюватиме:

$$a_{max} = d_1 + d_2, \tag{3.15}$$

$$a_{min} = 0{,}55 \cdot (d_1 + d_2) + h, \tag{3.16}$$

де h – товщина ременя, h = 11 мм

$$à_{max} = 100 + 125 = 225 \text{ мм}$$

$$a_{min} = 0{,}55 \cdot (100 + 125) + 11 = 134{,}75 \text{ мм}$$

Проміжне значення міжосьової відстані, мм;

$$a_{ср} = \frac{a_{max} + a_{min}}{2}, \tag{3.17}$$

$$a_{ср} = \frac{225 + 134{,}75}{2} = 179{,}8 \text{ мм}$$

Розрахункову довжину ременя визначимо за формулою, мм:

$$L_p = 2 \cdot a_{ср} + \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a_{ср}}, \tag{3.18}$$

$$L_ð = 2 \cdot 179{,}8 + \frac{3{,}14}{2} \cdot (100 + 125) + \frac{(125 - 100)^2}{4 \cdot 179{,}8} = 713{,}8 \text{ мм}$$

Приймаємо найближчу за стандартом довжину ременя L = 750 мм.

Визначимо нове значення міжосьової відстані з урахуванням стандартної довжини ременя.

$$a = 0{,}25 \cdot \left[ L - \omega + \sqrt{(L - \omega)^2 - 8 \cdot y^2} \right], \tag{3.19}$$

$$\omega = 0{,}5 \cdot \pi \cdot (d_1 + d_2) = 353{,}4 \qquad y = 0{,}25 \cdot (d_2 - d_1)^2 = 156{,}25 \tag{3.20}$$

$$a = 0{,}25 \cdot \left[ (750 - 353{,}4) + \sqrt{(750 - 353{,}4)^2 - 8 \cdot 156{,}25^2} \right] = 197{,}8 \text{ мм}$$

Для забезпечення надягання ременя на шків під час монтажу клиноремінної передачі необхідно забезпечити можливість зменшення міжосьової відстані на 0,01L, тобто $\Delta a_{ум} = 0{,}01 \cdot 750 = 7{,}5$ мм.

Для регулювання натягу ременів необхідно передбачити можливість збільшення міжосьової відстані на 0,025L, тобто $\Delta a_{ув} = 0{,}025 \cdot 750 = 18{,}75$ мм.

Кут охоплення меншого шківа дорівнюватиме:

$$\alpha_1 = 180^0 - 57\frac{(d_2 - d_1)}{a}, \tag{3.21}$$

$$\alpha_1 = 180^0 - 57\frac{(125-100)}{197{,}8} = 172^o$$

Визначимо окружну швидкість ременя, м/с:

$$\upsilon_p = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{дв}}{60 \cdot 1000}, \tag{3.22}$$

$$\upsilon_p = \frac{3{,}14 \cdot 100 \cdot 71}{60 \cdot 1000} = 0{,}37 \text{ м/с}$$

Потужність, що передається одним клиновим ременем у заданих умовах експлуатації, кВт;

$$P_1 = \frac{P_0 \cdot C_\alpha \cdot C_{\upsilon p} \cdot C_i \cdot C_L \cdot C_\beta}{C_p}, \tag{3.23}$$

де $P_o$ – номінальна потужність, що передається одним ременем, $P_o$ =0,48 кВт

$C_\alpha$ – коефіцієнт кута охоплення малого шківа, $C_\alpha$ =0,96;

$C_{\upsilon p}$ – коефіцієнт, що враховує окружну швидкість, $C_{\upsilon p}$ =1,03;

$C_i$ – коефіцієнт, що враховує передавальне відношення, $C_i$ =1,07;

$C_L$ – коефіцієнт, що враховує довжину ременя, $C_L$ =0,83;

$C_\beta$ – коефіцієнт, що враховує кут нахилу передачі до горизонту, $C_\beta$ =1;

$C_p$ – коефіцієнт динамічності навантаження та режиму роботи, $C_p$ =1;

$$P_1 = \frac{0{,}48 \cdot 0{,}96 \cdot 1{,}03 \cdot 1{,}07 \cdot 0{,}83 \cdot 1}{1} = 0{,}411 \text{ кВт}$$

Кількість ременів, необхідних для приводу дозатора;

$$Z = \frac{P_{дв}}{P_1 \cdot C_z}, \tag{3.24}$$

де $C_z$ – коефіцієнт, що враховує кількість ременів у комплекті, $C_z$ =1.

$$Z = \frac{1,1}{0,411 \cdot 1} = 0,58$$

Приймаємо кількість ременів рівною Z=1.

Зусилля, що виникає в клиноремінній передачі від попереднього натягу ременя, Н:

$$F_O = \frac{850 \cdot P_{дв} \cdot C_P \cdot C_L}{Z \cdot \upsilon_p \cdot C_\alpha} + \theta \cdot \upsilon_p^{\,2}\ , \qquad (3.25)$$

де θ – коефіцієнт, що враховує вплив відцентрових сил, θ=0,18 Нс$^2$ /м$^2$ .

$$F_O = \frac{850 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 0,83}{1 \cdot 0,37 \cdot 0,96} + 0,1 \cdot 0,37^2 = 530,5 \text{ кН}$$

Зусилля, що передається на ведений вал клиноремінної передачі, Н:

$$F_B = 2 \cdot F_O \cdot Z \cdot \sin\frac{\alpha_1}{2}\ , \qquad (3.26)$$

$$F_B = 2 \cdot 530,5 \cdot 1 \cdot \sin\frac{172}{2} = 2,1 \text{ кН}$$

З метою забезпечення довговічності ременя необхідно дотримуватися наступної умови:

$$\nu = \frac{\upsilon_P}{L} \le [\nu] \qquad (3.27)$$

де ν – кількість пробігів ременя; с$^{-1}$

[ν] – допустима кількість пробігів ременя, [ν] = 10 с$^{-1}$ [17];

$$\nu = \frac{0,37}{0,750} = 0,49 \le 10 \text{с}^{-1}$$

Умова виконується.

Розрахункова довговічність ременя:

$$L_h = \left(\frac{\sigma_У}{\sigma_{MAX}}\right)^8 \cdot \frac{10^7 \cdot C_I \cdot C_P}{3600 \cdot Z_ш \cdot \nu}\ , \qquad (3.28)$$

де $\sigma_у$ – межа витривалості матеріалу ременя, МПа;

$\sigma_{max}$ – максимальне напруження в ремені, МПа;

m – показник ступеня;

$Z_ш$ – кількість шківів, що огинаються ременем

Для клинових ременів $\sigma_у$ = 9 МПа і m = 8.

$$\sigma_{max} = \sigma_{пр} + \sigma_{ок} + \sigma_ц + \sigma_и , \quad (3.29)$$

де $\sigma_{пр}$ – напруження від сили попереднього натягу ременя, МПа;

$\sigma_{ок}$ – напруження від окружної сили, МПа;

$\sigma_ц$ – напруження від відцентрових сил, МПа;

$\sigma_i$ – напруження від згинальних сил, МПа.

$$\sigma_{їð} = \frac{F_0}{A} , \quad (3.30)$$

де А – площа поперечного перерізу ременя, А=81 мм$^2$ .

$$\sigma_{їð} = \frac{530,5}{81} = 6,55 \text{ МПа}$$

Напруження від окружної сили, МПа:

$$F_t = \frac{P_{дв}}{\upsilon_р} , \quad (3.31)$$

$$\sigma_{ок} = \frac{F_t}{2 \cdot A \cdot Z} \quad (3.32)$$

$$F_t = \frac{0,55}{0,37} = 1,48 \qquad Н/\sigma_{ок} = \frac{1,48}{2 \cdot 81 \cdot 1} = 0,004 \text{ МПа}$$

Напруження від відцентрових сил, МПа:

$$\sigma_ö = 10^{-6} \cdot \rho_ð \cdot \upsilon^2 , \quad (3.33)$$

де $\rho_р$ – щільність матеріалу ременя, $\rho_р$ = 1200 кг/м$^3$ .

$$\sigma_ö = 10^{-6} \cdot 1200 \cdot 0,37^2 = 0,00016 \text{ МПа}$$

Напруження згину, МПа

$$\sigma_и = \frac{2 \cdot E \cdot Y}{d_1} , \quad (3.34)$$

де Е – модуль пружності при згині, МПа;

Y – відстань від крайніх волокон несучого шару до нейтральної лінії ременя, мм

Для клинових ременів з перерізом А добуток E·Y=100 [17].

$$\sigma_è = \frac{2 \cdot 100}{100} = 2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{max} = 6,5+0,004+0,00016+2=8,55 \text{ МПа}$$

$$L_h = \left(\frac{9}{8,55}\right)^8 \cdot \frac{10^7 \cdot 1,07 \cdot 1}{3600 \cdot 1 \cdot 0,49} = 4246 \text{ годин.}$$

Lh >$t_{ср}$ > 2000 годин – для середнього режиму роботи.

Умова виконується.

Для приводу дозатора приймаємо клиноремінну передачу, що включає 1 ремінь А – 850 ISO 4184 (з площею поперечного перерізу 81 мм$^2$ ) [17].

### 3.5 Розрахунок пружини дозатора

Приймаємо робоче навантаження залежно від сили, що діє на пружину $F_T$ =140 Н, і робочий хід h= 8 мм

Виготовлення пружини передбачаємо з вольфрамової сталі, використовуючи дріт 1 класу [18].

Необхідний діаметр дроту гвинтової циліндричної пружини при граничному (до зіткнення витків) навантаженні знаходимо.

$$d = 1.6 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot C \cdot F_3}{[\tau]}}, \qquad (3.32)$$

де d – діаметр дроту, мм;

[τ] – допустиме напруження для дроту циліндричної гвинтової пружини, припускаючи, що діаметр дроту d= (7…8) мм, приймаємо допустиме напруження для дроту. [τ] =210 МПа [18];

К – коефіцієнт впливу на напруження кривизни витків і поперечної сили, К=0,17 [12];

С – індекс пружини, С=8 [6];

$F_3$ – максимальна сила стиснення, Н.

$$F_3 = (1,05...1,66)F_2, \qquad (3.33)$$

де $F_2$ – робоче навантаження, Н

$$F_з = 1,05 \cdot 140 = 147 \text{ Н}$$

$$d = 1.6 \cdot \sqrt{\frac{0.27 \cdot 8 \cdot 147}{210}} = 1,96 \text{ мм}$$

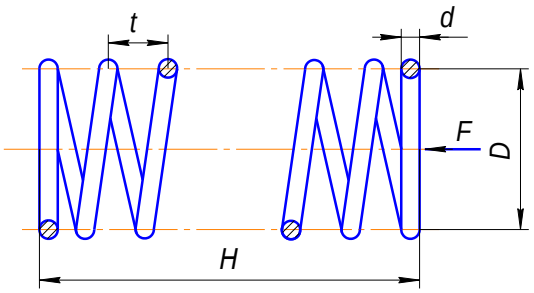



Рис. 3.9. Схема пружини дозатора

Керуючись ДСТУ ISO 8458-2, остаточно приймаємо діаметр дроту пружини d=2,5 мм [18].

Середній діаметр пружини знаходимо за формулою.

$$D = C \times d, \tag{3.34}$$

$$D = 8 \times 2,5 = 20 \text{мм}$$

Зовнішній діаметр, мм.

$$D_{Н} = D + d, \tag{3.35}$$

$$D_{Н} = 20 + 2,5 = 22,5 \text{мм}$$

Знаходимо жорсткість одного витка пружини.

$$C_1 = 10^4 \frac{d}{c^3}, \tag{3.36}$$

$$C_1 = \frac{10^4 \times 2,5}{8^3} = 48,8 \text{ Н м.}$$

Жорсткість пружини знаходимо за формулою.

$$C = \frac{F_2 - F_1}{h}, \tag{3.37}$$

де С – жорсткість пружини, Н/мм;

$F_2$ – робоче навантаження, Н;

$F_1$ – попереднє навантаження, Н;

h – робочий хід, мм.

$$F_1 = (0,1...0,5)F_2, \tag{3.38}$$

$$F_1 = 0,1 \times 147 = 14,7 \text{ Н}$$

$$C = \frac{147 - 14,7}{25} = 5,3 \text{ Н/м}$$

Визначимо кількість робочих витків пружини.

$$n = \frac{C_1}{C}, \tag{3.39}$$

$$n = \frac{48,8}{5,3} = 9,2$$

Приймаємо кількість робочих витків циліндричної гвинтової пружини n=10 і уточнюємо значення Сі $F_1$ .

$$C = \frac{C_1}{n}, \tag{3.40}$$

$$C = \frac{48,8}{10} = 4,8 \text{ Н/м}$$

$$F_1 = F_2 - c \times h, \tag{3.41}$$

$$F_1 = 140 - 1,12 \times 25 = 119 \text{Н}$$

Знаходимо попередню $\lambda_1$ , робочу $\lambda_2$ та максимальну $\lambda_3$ деформацію пружини.

$$\lambda_1 = \frac{F_1}{C} \frac{119}{4,8} = 24,7 \text{ мм} \tag{3.42}$$

$$\lambda_2 = \frac{F_2}{C} = \frac{140}{4,8} = 29,1 \text{ мм} \tag{3.43}$$

$$\lambda_3 = \frac{F_3}{C} \frac{147}{4,8} = 30,6 \text{ мм} \tag{3.44}$$

Знаходимо найбільший прогин одного витка.

$$\lambda_3^{/} = \frac{\lambda_3}{n}, \tag{3.45}$$

$$\lambda_3' = \frac{30,6}{10} = 3,06 \text{ мм}$$

Знайдемо повну кількість витків.

$$n_1 = n + n_2, \tag{3.46}$$

де $n_2$ – число опорних витків, що дорівнює 2.

$$n_1 = 10 + 2 = 12$$

Знайдемо крок пружини в ненавантаженому стані для циліндричної гвинтової пружини стиснення.

$$t = \lambda_3^{/} + d, \tag{3.47}$$

$$t = 3{,}06 + 2{,}5 = 5{,}56 \text{ мм}$$

Висота пружини у вільному стані.

$$h_3 = (n_1 + 1 - n_3) \times d_1, \tag{3.48}$$

$$h_3 = (12+1 - 2)\cdot 2{,}5 = 27{,}5 \text{ мм}$$

Висота пружини.

$$H_1 = h_3 + \lambda_1 = 27{,}5 + 24{,}7 = 52{,}2 \text{ мм} \tag{3.49}$$

$$H_2 = h_3 + \lambda_2 = 25{,}7 + 29{,}1 = 54{,}8 \text{ мм} \tag{3.50}$$

$$H_3 = h_3 + \lambda_3 = 25{,}7 + 30{,}6 = 56{,}3 \text{ мм} \tag{3.51}$$

Довжина розгорнутої пружини.

$$h = 3{,}2 \times D \times n_1, \tag{3.52}$$

де h – довжина розгорнутої пружини, мм;

D – середній діаметр пружини, мм;

$n_1$ – повне число витків.

$$h = 3{,}2 \cdot 20 \cdot 12 = 768 \text{ мм}$$

Проводимо перевірку працездатності циліндричної гвинтової пружини.

$$\tau = \frac{8 \times h \times F_3 \times C}{\pi \times d^2}, \tag{3.53}$$

де $\tau$ – розрахункове максимальне напруження в поперечних перерізах витків пружини, МПа;

h – коефіцієнт впливу на напруження кривизни витків і поперечної сили;

$F_3$ – максимально стискаюча сила, Н;

C – індекс пружини;

d – діаметр дроту, мм.

$$\tau = \frac{8 \cdot 768 \cdot 147 \cdot 4{,}8}{3{,}14 \cdot 2{,}5^2} = 220{,}9 \text{ МПа} \leq 310 \text{ МПа}$$

Умови міцності виконуються.

### 3.6 Розрахунок шпоночного з'єднання ведучого шківа на вал

Для кріплення ведучого шківа на вал і забезпечення безпеки при експлуатації всього дозатора доцільно застосовувати шпонкове з'єднання.

Діаметр вихідного вала редуктора становить 25 мм, пропонуємо встановити призматичну шпонку. Вибираємо шпонку з урахуванням діаметра вала. Відповідно до діаметра ведучого шківа на привід кривошипно-шатунного вала плунжерного блоку вибираємо розміри шпонки [18]. Для вала діаметром $d_в$ = 32 мм приймаємо шпонку з розмірами b = 10 мм, h =8 мм , глибина меншого паза t = 5 мм.

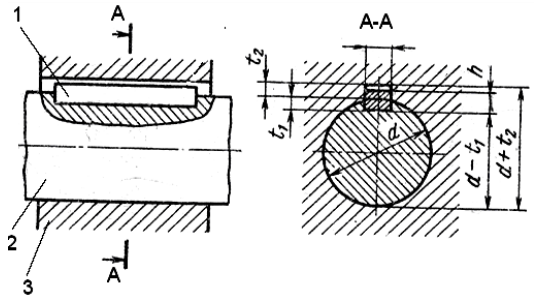



Рис. 3.8. Схема шпоночного з'єднання: 1 – шпонка; 2 – вал; 3 – робочий орган.

Робоча довжина шпонки, мм:

$$L_{ш} = \frac{2 \cdot T_{в}}{d \cdot (h - t) \cdot [\sigma_{см}]} \tag{3.54}$$

де: $\sigma_{см}$ – допустиме напруження зминання, 80...120 МПа, $[\sigma_{см}]$ = 90 МПа

$$L_{ш} = \frac{2 \cdot 405}{32 \cdot (8 - 5) \cdot 90} = 23{,}6 \text{ мм}$$

Довжину шпонки беремо зі стандартного ряду $L_{ш}$ = 25 мм

Перевірка шпоночного з'єднання на зминання:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot T_{в}}{d \cdot (h - t) \cdot l_{р}} < [\sigma]_{см} \tag{3.55}$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 405}{32 \cdot (8 - 5) \cdot 25} = 85 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження $[\sigma]_{см}$ = 100 МПа. Умова $\sigma_{см} < [\sigma]_{см}$ виконується.

Приймаємо шпонку 10×8×25 ISO 773 [18].

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технології приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі з розробкою дозатора сухих компонентів суміші. У процесі виконання роботи встановлено, що якість годівлі великої рогатої худоби значною мірою залежить від точності дозування кормових компонентів, рівномірності їх змішування, стабільності роботи обладнання та раціональної організації технологічного процесу. Концентровані корми є важливою складовою раціону молочних корів, оскільки забезпечують тварин енергією, протеїном, мінеральними речовинами та іншими поживними елементами, необхідними для підтримання високої продуктивності.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології приготування концентрованих кормів у тваринництві, визначено їх основні переваги та недоліки. Встановлено, що традиційні способи приготування кормових сумішей не завжди забезпечують необхідну точність дозування сухих компонентів, особливо тоді, коли до складу суміші вводяться добавки, премікси, мінеральні речовини та інші компоненти з малими нормами внесення. Також було враховано досвід країн Європейського Союзу, де значна увага приділяється автоматизації кормоприготування, контролю якості кормів, енергоощадності обладнання та дотриманню вимог безпечності кормової продукції. Це підтверджує актуальність удосконалення технологічних ліній приготування концентрованих кормів в умовах сучасних молочно-товарних ферм.

У другому розділі виконано проєктування лінії приготування концентрованих кормів на молочно-товарній фермі. Запропонована технологічна схема передбачає послідовне виконання основних операцій: приймання та зберігання кормових компонентів, очищення зернової сировини, подрібнення, дозування, змішування і подачу готової кормової суміші. Було підібрано необхідне обладнання для забезпечення безперервності та надійності

роботи лінії. Виконані технологічні розрахунки дали змогу визначити продуктивність лінії, потребу в сировині, місткість бункерів, параметри дозування та основні показники роботи обладнання. Запропонована схема дозволяє зменшити частку ручної праці, підвищити якість приготування корму та забезпечити стабільність складу суміші відповідно до заданої рецептури.

У третьому розділі було розглянуто існуючі конструкції дозаторів сухих і сипучих кормових компонентів та обґрунтовано доцільність розробки власного дозатора сухих компонентів суміші. Запропонований дозатор призначений для рівномірної та регульованої подачі сипучих матеріалів у технологічну лінію. Його конструкція передбачає використання робочих органів, які забезпечують руйнування можливих склепінь корму в бункері, стабілізацію потоку матеріалу та зменшення нерівномірності подачі. Виконані розрахунки конструктивних параметрів дозатора, приводу та окремих елементів підтвердили можливість його використання в складі лінії приготування концентрованих кормів. Застосування такого пристрою сприяє підвищенню точності дозування, зниженню втрат кормових компонентів і покращенню однорідності готової суміші.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Запропонована технологічна лінія та розроблений дозатор сухих компонентів суміші мають практичне значення і можуть бути використані під час модернізації існуючих кормоцехів або проєктування нових ліній приготування концентрованих кормів на молочно-товарних фермах.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

2. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2008. 552 с.

3. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

4. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. Київ : Кондор, 2009. 731 с.

5. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Заболотько О. О. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум. 2-ге вид. Київ : Кондор, 2012. 562 с.

6. Машини і обладнання для тваринництва / І. І. Ревенко, О. О. Заболотько, В. С. Хмельовський та ін. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.

7. Машини та обладнання для тваринництва : підручник / О. А. Науменко, І. Г. Бойко, О. В. Нанка, В. М. Полупанов та ін. ; за ред. І. Г. Бойка. Т. 1. Харків : ЧП Червяк, 2006. 225 с.

8. Машини та обладнання для тваринництва : підручник / О. А. Науменко, І. Г. Бойко, В. І. Грідасов, А. І. Дзюба та ін. ; за ред. І. Г. Бойка. Т. 2. Харків : ЧП Червяк, 2006. 279 с.

9. Романюха І. О., Дудін В. Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2014. 418 с.

10. Романюха І. О., Павленко С. І., Дудін В. Ю. Курсове та дипломне проектування тваринницьких підприємств : навч. посіб. Дніпропетровськ : РВВ ДДАУ, 2009. 272 с.

11. Механізація виробництва продукції тваринництва / І. І. Ревенко, Г. М. Кукта, В. М. Манько та ін. ; за ред. І. І. Ревенка. Київ : Урожай, 1994. 264 с.

12. Носов М. С. Механізація робіт на тваринницьких фермах : навч. посіб. / пер. з рос. І. І. Гогуля. Київ : Вища школа, 1994. 367 с.

13. Дмитрів В. Т. Машиновикористання у тваринництві : курс лекцій. Львів : ЛДАУ, 2002. 202 с.

14. Дмитрів В. Т. Основи теорії машиновикористання у тваринництві : навч. посіб. Львів : Афіша, 2008. 256 с.

15. Патрєва Л. С. Технологія виробництва продукції тваринництва : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2017. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/2083 (дата звернення: 02.06.2026).

16. Технологія виробництва продукції тваринництва : підручник / О. Т. Бусенко, В. Д. Столюк, М. В. Штомпель та ін. ; за ред. О. Т. Бусенка. Київ : Вища освіта, 2005. 496 с.

17. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.

18. Смоляр В. І., Халін С. В., Постельга С. С., Бабинець Т. Л. та ін. Машини для тваринництва та заготівлі кормів : монографія. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2022. 231 с.

19. Проектування технологічних процесів у тваринництві : навч. посіб. / за ред. І. І. Ревенка. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 292 с.

20. Основи технології кормоприготування. Електронний навчальний курс ТДАТУ. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_3/page2.html (дата звернення: 02.06.2026).

21. Regulation (EC) No 183/2005 of the European Parliament and of the Council of 12 January 2005 laying down requirements for feed hygiene. Official Journal of the European Union. 2005. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2005/183/oj (date of access: 02.06.2026).

22. Regulation (EC) No 767/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the placing on the market and use of feed. Official Journal of the European Union. 2009. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/767/oj (date of access: 02.06.2026).

23. FEFAC. Feed & Food 2025 : Statistical Yearbook. Brussels : European Feed Manufacturers' Federation, 2025. URL: https://fefac.eu/wp-content/uploads/2026/04/05277-Feed-Food-Report-2025_104.pdf (date of access: 02.06.2026).

24. FEFAC. EU Compound Feed Production Market Forecast 2025. Brussels : European Feed Manufacturers' Federation, 2025. URL: https://fefac.eu/newsroom/news/eu-compound-feed-production-market-forecast-2025-2/ (date of access: 02.06.2026).

25. FAO. Present Situation of the Compound Feed Industry and Future Prospects. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/4/x6930e/X6930E14.htm (date of access: 02.06.2026).

26. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. Washington, DC : The National Academies Press, 2021. 502 p.

27. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Washington, DC : National Academy Press, 2001. 381 p.

28. ISO 6497:2002. Animal feeding stuffs — Sampling. Geneva : International Organization for Standardization, 2002.

29. Грудовий Р.С., Отвивінський В.А., Руденко В.Г., Шевчук О.А., Герасимчук Д.В. Кормовиробництво в Україні: тенденції, проблеми і перспективи. Збірник тез XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 11 квітня 2025 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2025. С. 255.

30. Дерев'янко Д.А., Отвинівський В.А. Сорока Б.А. аналіз існуючих технологій приготування концентрованих кормів в тваринництві. Збірник тез

XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 197-199.