

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 664.7

Кваліфікаційна робота на правах  
рукопису

ТАРАСЕВИЧ Андрій Миколайович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДОЗАТОРА ЛЕГКОСИПКИХ МАТЕРІАЛІВ**

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

---

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
к.т.н., доц. Медведський О. В.

Житомир – 2023

## АНОТАЦІЯ

Тарасевич А. М. **Удосконалення дозатора легкосипких матеріалів.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023 р.

У кваліфікаційній роботі наведено аналіз наявних конструкційних рішень дозаторів сипких матеріалів, розкриті їх переваги та недоліки, оцінено типи робочих органів. Визначено та обґрунтовано напрямки удосконалення дозатора.

Кваліфікаційна робота вирішує питання збільшення ефективності процесу дозування сипких матеріалів за рахунок спрощення конструкції та розширення меж регулювання. Розроблена конструкція барабанного дозатора із комірками які можуть змінювати свій об'єм.

Проведено конструкційно-технологічні розрахунки розробленого барабанного дозатора сипких матеріалів, встановлено параметри ланцюгової передачі електроприводу, проведено порівняльну оцінку серійного та удосконаленого дозатора.

**Ключові слова:** барабанний дозатор, частота обертання, рухома лопатка, ланцюгова передача, копір.

## ANNOTATION

Tarasevich A. M. **Improvement of the dispenser of loose materials.** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023

The qualification paper provides an analysis of the existing construction solutions of bulk material dispensers, reveals their advantages and disadvantages, and evaluates the types of working bodies. The directions for improving the dispenser have been defined and substantiated.

The qualification work solves the issue of increasing the efficiency of the dosing process of loose materials due to the simplification of the design and the expansion of the control limits. The construction of a drum dispenser with cells that can change their volume has been developed.

Structural and technological calculations of the developed drum dispenser for bulk materials were carried out, the parameters of the chain transmission of the electric drive were established, and a comparative evaluation of the serial and improved dispenser was carried out.

**Key words:** drum dispenser, rotation frequency, movable vane, chain transmission, copier.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДОЗАТОРІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ .....	7
1.1. Встановлення класифікації дозаторів сипких матеріалів .....	7
1.2. Аналіз конструкцій дозаторів сипких матеріалів .....	11
Висновки до розділу 1 .....	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОЗАТОРА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ .....	19
2.1. Синтез конструкції дозатора .....	19
2.2. Технологічний розрахунок дозатора .....	20
2.3. Розрахунок на міцність елементів дозатора .....	24
Висновки до розділу 2 .....	27
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ДОЗАТОРА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ .....	28
3.1. Заходи технічної експлуатації розробленого дозатора .....	28
3.2. Визначення економічної доцільності використання розробленого дозатора .....	30
Висновки до розділу 3 .....	32
ВИСНОВКИ .....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	34
ДОДАТКИ .....	36

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дозування як технологічна операція є важливою для приготування повноцінних кормових сумішей на тваринницьких підприємствах, або для приготування повнораціонних комбікормів відповідно до заданої рецептури на комбікормових підприємствах. У зв'язку із цим важливо правильно обрати технічні засоби для реалізації технологічного процесу дозування під конкретні потреби.

Для задоволення потреб у дозуванні промисловість виготовляє різноманітну номенклатуру дозаторів сипких матеріалів. Відрізняються дозатори за способом дозування та реалізацією технологічного процесу. Найбільш точними вважаються вагові дозатори порційного дозування. В таких дозаторах на точність дозування не впливають фізико-механічні властивості дозованого матеріалу. Але такі дозатори не можуть використовуватись у неперервних процесах. Звичайно промисловість пропонує вагові дозатори для неперервного дозування у потокових технологічних лініях, але такі дозатори втрачають у точності та досить дорогі в експлуатації.

Об'ємне дозування вважається на 3 % менш точним способом дозування компонентів. Суттєвим під час використання об'ємних дозаторів є необхідність володіти інформацією про точні фізико-механічні властивості матеріалу який буде дозуватись, що робить їх менш універсальними порівняно із ваговими. Але таке відхилення від точності прийнятне для приготування кормових сумішок на тваринницькому підприємстві або на комбікормовому заводі (за винятком дозування преміксів та білково-вітамінних добавок). Найбільшого поширення набули шнекові та барабанні дозатори сипких матеріалів для неперервного дозування у технологічних лініях. Такі технічні системи відрізняються типом робочих органів та способами налагодження на задану норму дозування компонентів.

Тому, пошук технічного рішення універсального об'ємного дозатора сипких матеріалів для їх непевного дозування вважається актуальним завданням на сьогодні.

**Мета і завдання.** Метою кваліфікаційної роботи є збільшення експлуатаційної ефективності дозатора сипких матеріалів шляхом удосконалення барабанного робочого органу із комірками змінного об'єму.

Для реалізації мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз кваліфікаційних ознак дозаторів сипких матеріалів;
- встановити конструкційні особливості дозаторів сипких матеріалів, встановити їх переваги та недоліки, визначити шляхи подальшого удосконалення;
- розробити конструкцію барабанного дозатора із можливістю зміни об'єму комірок для реалізації неперервного принципу дозування сипких матеріалів;
- визначити технологічні параметри розробленого дозатора, встановити межі можливого регулювання продуктивності;
- виконати розрахунки важливих елементів розробленого барабана на міцність, встановити кінематичні параметри електроприводу;
- вказати експлуатаційні переваги розробленого дозатора порівняно із прототипом для однакових умов використання.

**Об'єкт досліджень** – технологічний процес дозування легкосипких компонентів у неперервному потоці.

**Предмет досліджень** – параметри технологічних режимів та конструкції барабанного дозатора неперервної дії.

**Методи досліджень.** Вказані у кваліфікаційній роботі завдання вирішувалися шляхом використання основних положень та законів теоретичної механіки, теорії машин та механізмів, використовувалися відомі аналітичні моделі розрахунку конструкційних параметрів. Деякі теоретичні дослідження виконували за допомогою програмного середовища Microsoft Excel, при використанні Microsoft Word.

**Апробація результатів роботи.** Результати кваліфікаційної роботи пройшли належну апробацію – доповідались на внутрішньо вузівських та міжфакультетських конференціях, викладені у наступних друкованих працях:

1. Тарасевич А. М. Розроблення функціональної схеми дозатора. Матеріали науково-практичної конференції *I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей*. 18 січня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 18–20.

2. Медведський О. В., Тарасевич А. М. Оцінка класифікаційних ознак дозаторів сипких матеріалів. *Наукові читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 19 квітня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. Т. 2. С. 19–20.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (22 найменувань), викладена на 35 сторінках комп'ютерного тексту. Пояснювальна записка містить 9 рисунків та 5 таблиць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДОЗАТОРІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

### 1.1. Встановлення класифікації дозаторів сипких матеріалів

Дозування сипких компонентів, особливо під час приготування кормових сумішей із різних за фізико-механічними властивостями кормів є важливою технологічною операцією на тваринницьких підприємствах. Використовуються дозатори і для приготування багатокомпонентних комбікормів у сипкому або гранульованому вигляді на комбікормових підприємствах чи безпосередньо в господарствах з виробництва продукції тваринництва. [1-5]

Пристрої для дозування (рис. 1.1-1.2) класифікують за призначенням для використання тільки одного матеріалу (монодозатори), або для дозування різних матеріалів схожих за фізико-механічними характеристиками. [1-5]

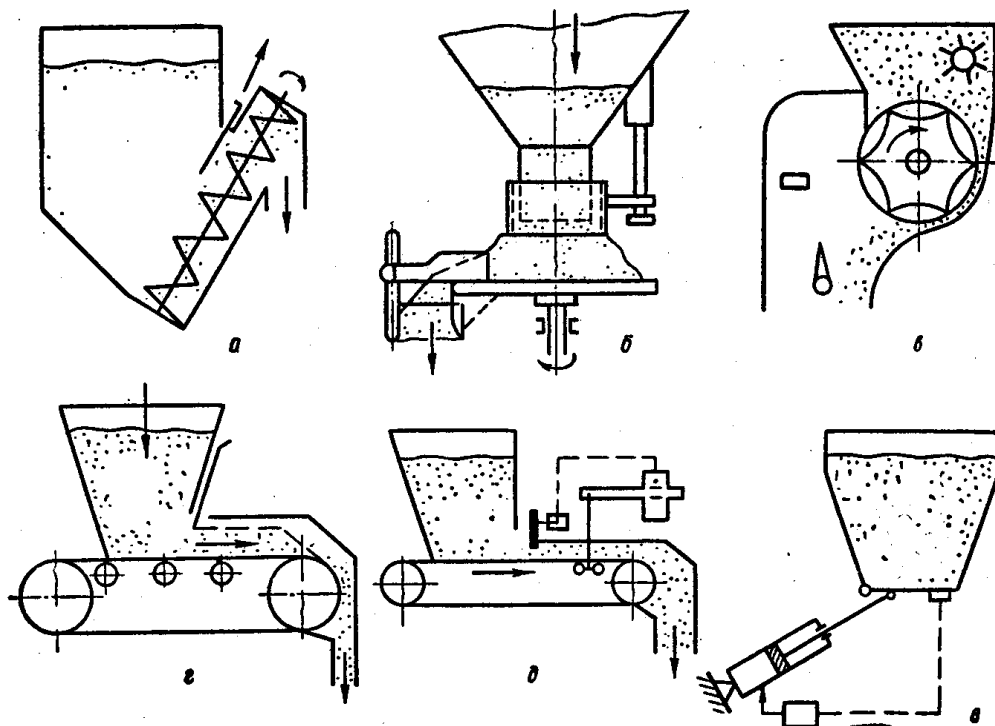


Рис. 1.1. Структурні схеми дозаторів сипких компонентів: *a* – шнековий; *б* – тарілчастий; *в* – котушковий; *г* – стрічковий; *д* – стрічковий ваговий; *е* – порційний ваговий [1, 2, 6]

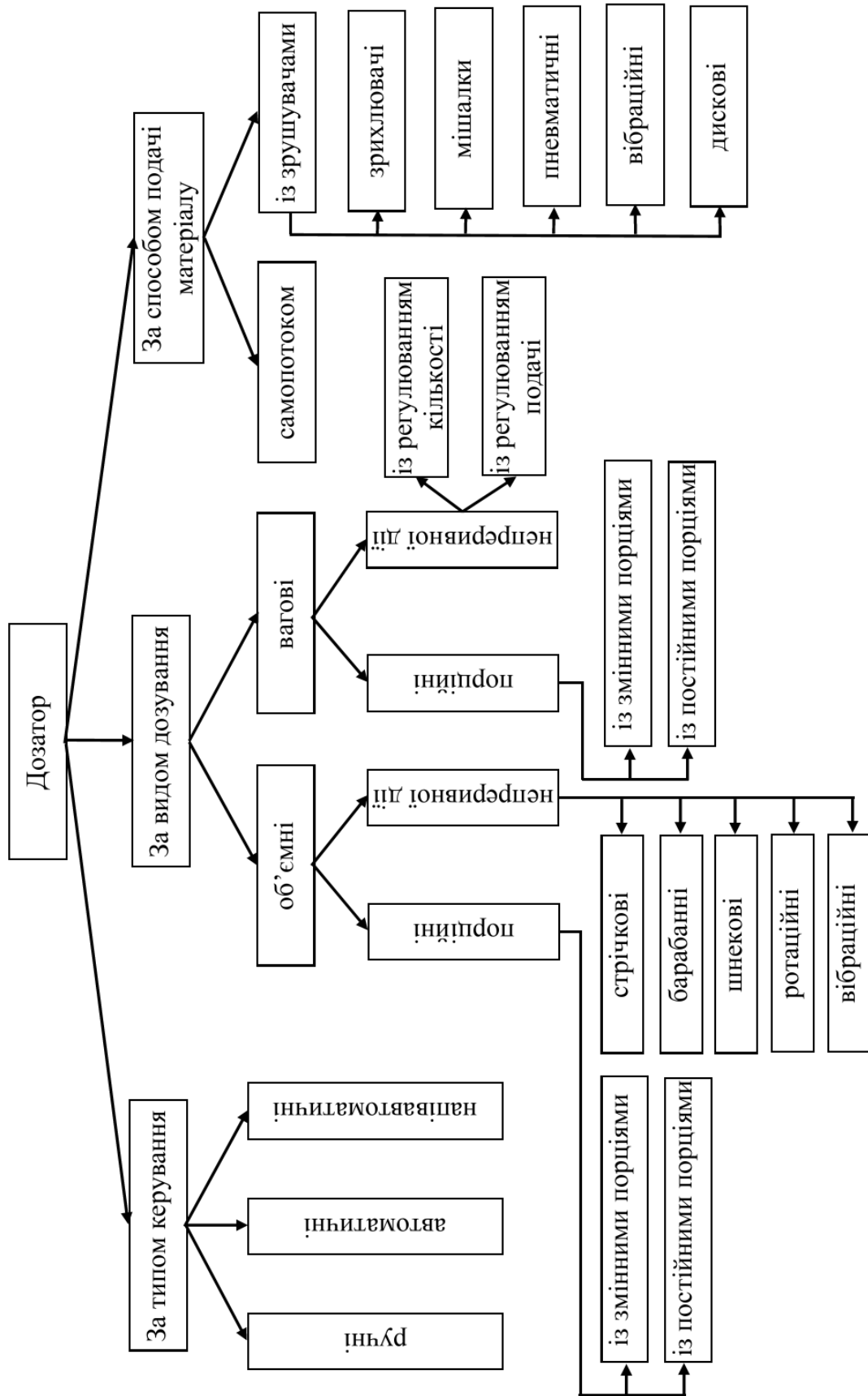


Рис. 1.2. Класифікаційні ознаки дозаторів [1-5]



За видом дозування (рис. 1.2) дозатори класифікують на два основні типи – вагові та об'ємні. При цьому кожен тип за організацією робочого процесу може належати до машин періодичної або неперервної дії. [1-5]

За умови порційного дозування відбувається відбір кожної конкретної порції матеріалу певної ваги або об'єму. При цьому дана вага або об'єм має відповідати заданій дозі відповідно до раціону, якщо мова йде про приготування суміші кормів. В такому випадку вказана порція подається у порційний змішувач. Якщо використовується змішувач неперервної дії, то і дозатор має бути неперервного принципу дії. За таких умов всі компоненти до змішувача подаються у неперервному потоці, а змішування також відбувається в процесі переміщення складових кормової суміші. [1-5]

Вагове дозування порцій матеріалу використовується у випадку потреби у точному вмісті компоненту відповідно до рецептури у випадку приготування комбікормів чи заданого раціону у випадку приготування кормових сумішей для тварин. Важливим є точне вагове дозування білково-вітамінних добавок та преміксів. [1-5]

Вагові порційні дозатори характеризуються досить високою точністю дозування із відхиленням яке не перевищує  $\pm 1$  %. Останнім часом все більшого поширення набуває використання вагового дозування під час приготування кормів при використанні кормороздавачів-змішувачі на тваринницьких підприємствах. [1-5]

Під час вагового неперервного дозування компонентів точність дозування знижується до  $\pm 3$  %, порівняно із порційними. Це пояснюється складністю механізмів вагового дозування у потоці. Окрім цього, експлуатаційні видатки на використання таких дозаторів перевищують витрати при використанні порційних вагових дозаторів. Тому вагові дозатори неперервного дозування не використовуються у лініях де необхідно дотримуватись високої точності. [1-5]

У зв'язку із цим інженерами продовжується пошук конструкційних рішень поєднання точного вагового дозування із неперервністю процесу. Такі дозатори дозволять отримувати високу точність дозування, підвищення

продуктивності та зниження енергоємності процесу. [1-6]

Об'ємне дозування найбільш широко використовується для дозування усієї номенклатури матеріалів (сухі, вологі) під час приготування кормових раціонів чи збалансованих комбикормів. Об'ємні дозатори можуть бути як порційного так і неперервного дозування. При цьому точність дозування залежить від налаштувань дозатора та фізико-механічних властивостей кормів. Тому, дозатори об'ємного принципу дозування поступаються за точністю ваговим дозаторам. Але такі дозатори мають суттєву перевагу – простота конструкції та можливість реалізації процесу дозування у потоці без втрати точності. [1-6]

Найбільшого поширення набули шнекові, тарілчасті та барабанні дозатори об'ємного принципу дозування (рис. 1.1 *а, б, в*). Такі дозатори відрізняються простотою конструкції та можливістю регулювання норми дозування декількома способами. [1-6]

Для шнекового дозатора (рис. 1.1 *а*) норма дозування змінюється за допомогою зміни положення шиберної засувки та зміною частоти обертання шнека. Використання шнеків із різним кроком гвинта дозволяє розширити межі можливих норм дозування. Шнекові дозатори є універсальними машинами, так як можуть використовуватись для дозування важко сипких матеріалів, наприклад подрібнені коренеплоди або зелена маса. [1-5, 7, 8]

У тарілчастих дозаторів (рис. 1.1 *б*) може змінюватись частота обертання диска (тарілки) та висота зазору між тарілкою та трубчастою рухомою манжетою. Окрім цього, зміною положення скребка можна також добитися необхідного регулювання, якщо два попередніх регулювання не дали змоги отримати потрібний ефект. Використовуються тарілчасті дозатори для дозування легко сипких матеріалів, таких як концентрований корм. [1-6]

Дозатори барабанного типу (рис. 1.1 *в*) використовуються у великій кількості номенклатури обладнання для механізації процесу дозованої видачі легко сипких матеріалів. Це можуть бути катушкові висівні апарати у зернових сівалках, це шиберні дозатори бункерів-живильників у борошномельному

виробництві чи при приготуванні комбикормів і т. д. Норма дозування компонентів у барабанного дозатора може регулюватися за допомогою зміни частоти обертання барабана (у неперервних процесах), величиною відкриття шиберної засувки живильника та за допомогою зміни робочої зони барабана. [1-6]

## 1.2. Аналіз конструкцій дозаторів сипких матеріалів

Шнековий дозатор DWS-301-50-3 (рис. 1.3) поєднав у собі принцип об'ємного та вагового дозування. [9]

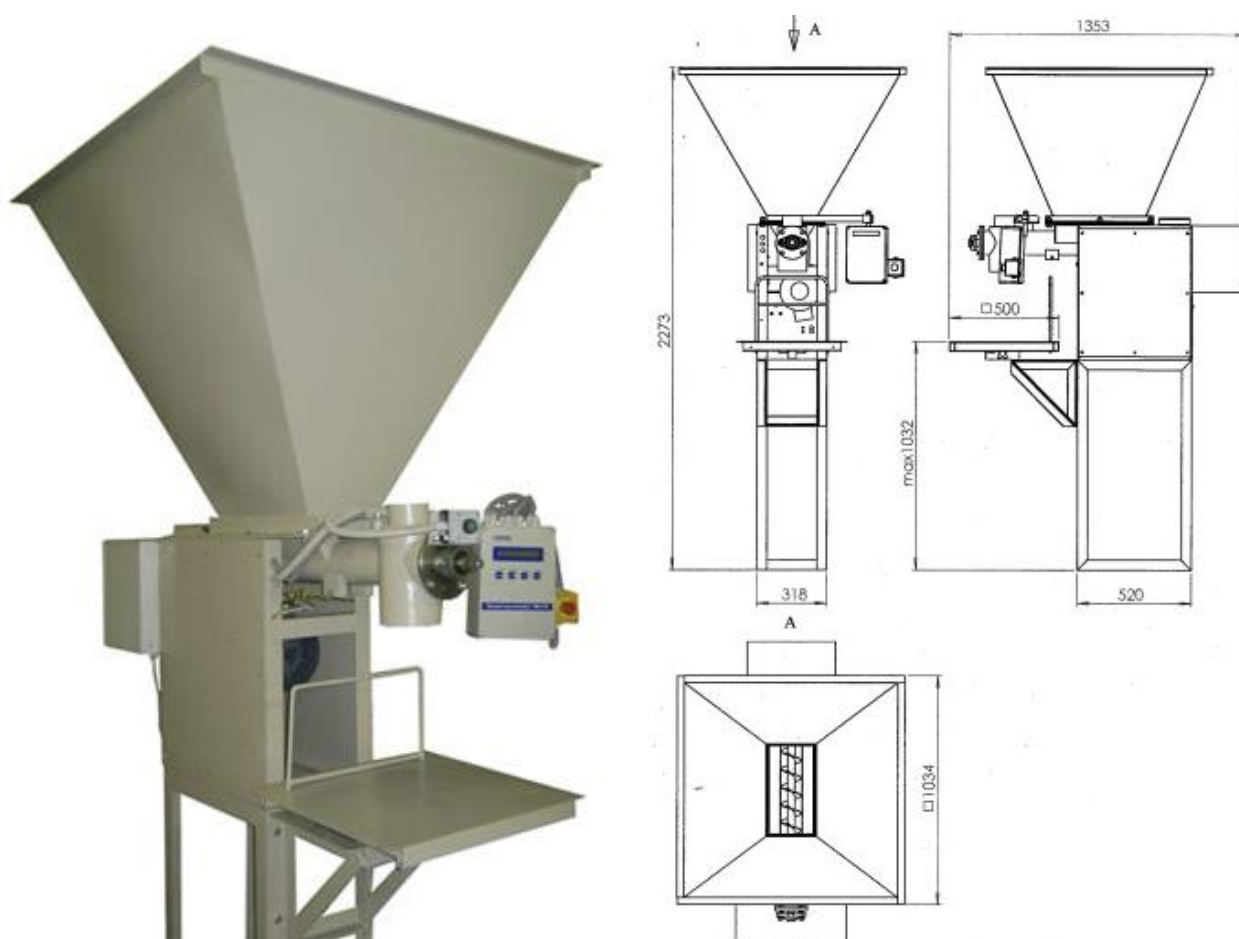


Рис. 1.3. Шнековий дозатор із ваговим пристроєм (виробник ТОВ НВФ «Сведа», м. Запоріжжя) [9]

Дозатор сипких матеріалів DWS-301-50-3 призначений для дозування сипких матеріалів у відкриті місткості. При дозуванні матеріалу на стрічковий збірний транспортер, ваговий пристрій не застосовується. Основними складовими елементами дозатора є: бункер для матеріалу; живильник шнекового типу; електропривод шнека; шафа керування; ваговий пристрій РW-310; станина. Технічна характеристика наведена у таблиці 1.1. [9]

Таблиця 1.1

## Технічна характеристика дозатора DWS-301-50-3 [9]

Показник	Значення
Межі порційного дозування, кг	10-50
Можливість зміни кроку дозування, кг	0,005
Відхилення від заданої норми дозування, %	±0,25
Продуктивність, кг/год	3000
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1353
ширина	1034
висота	2273
Спосіб керування дозатором	електричний
Температурний режим використання, °С	-10...+45
Ступінь захисту від проникнення пилу і води:	
вагового пристрою	IP 54
вагового процесора	IP 65

Дозатор DWS-301-50-3 працює в напівавтоматичному режимі. Оператору необхідно встановити місткість, за умови порційно-вагового дозування, на платформу та включити обладнання в роботу. При цьому оператор обирає один із двох режимів дозування – «грубий» або «точний». За процесом дозування та наповнення місткості слідкують за показами на табло вагового пристрою РW-310. [9]

Норму дозування компоненту можна змінювати за допомогою регульованої частоти обертання шнека. При порційно-ваговому дозуванні у встановлену місткість вища швидкість обертання сприяє пришвидшенню процесу дозування. При неперервній подачі матеріалу на збірний транспортер, частота обертання шнека впливає на кількість компонента який буде присутній у заданій суміші комбікорму або кормовій суміші. [9]

Основним недоліком дозатора є його недостатня продуктивність в умовах виробництва сумішей компонентів, зокрема суміші кормів на тваринницькому підприємстві, в обмежений зоотехнічними вимогами час.

Для дозованої подачі концентрованих кормів у лінії приготування кормових сумішей використовується дозатор ДК-10 (рис. 1.4).

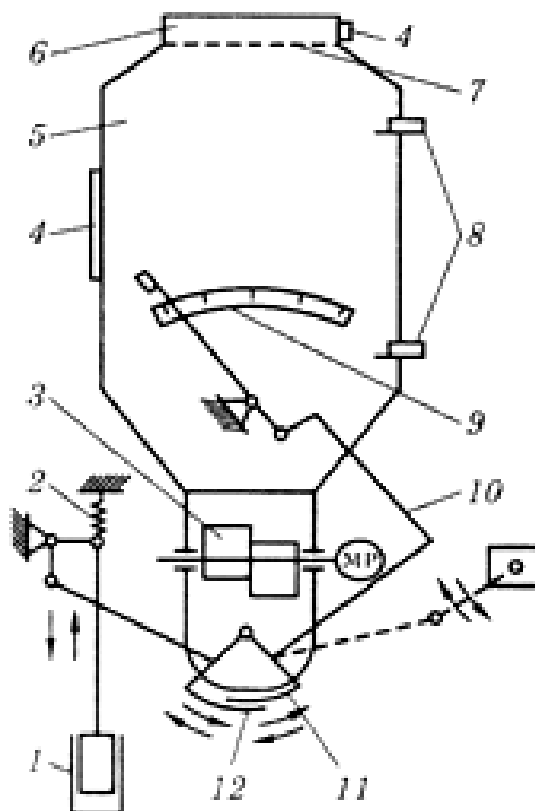


Рис. 1.4. Конструкційна схема дозатора ДК-10: 1 – електромагніт; 2 – пружинка; 3 – зворушувач; 4 – фіксатор; 5 – бункер; 6 – горловина завантажувальна; 7 – сітка; 8 – давачі рівня; 9 – шкала; 10 – важільний механізм; 11 – заслінка регульовальна; 12 – заслінка приводна [1-5]

Дозатор ДК-10 встановлюється безпосередньо над збірним транспортером для подачі дозованого компонента до змішувача. Технічна характеристика наведена у таблиці 1.2. [1-5]

Таблиця 1.2

## Технічна характеристика дозатора ДК-10

Показник	Значення
Продуктивність, т/год	0,1-8,0
Місткість бункера, м <sup>3</sup>	0,50
Частота обертання зворушувача, об/хв	40
Потужність приводу зворушувача, кВт	1,1
Точність дозування, %	±5
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1135
ширина	855
висота	2600
Маса, кг	135

Бункерний дозатор ДК-10 належить до дозаторів шибєрного типу із неперервним дозуванням. Норма подачі компоненту регулюється за допомогою важеля та встановлюється на основі показів шкали 9. При цьому фіксується незмінне положення регулювальної заслінки 11 (рис. 1.4). [1-5]

Принцип роботи дозатора ДК-10 наступний (див. рис. 1.4). При включенні у роботу електромагніту 1 відкривається приводна заслінка 11 на величину від 60 до 300 мм. Величина відкриття залежить від фіксованого положення заслінки 12, яке встановлюється по шкалі 9. Одночасно із відкриванням заслінки 11 активується за допомогою електродвигуна зворушувач. Робота зворушувача дозволяє рівномірним потоком подавати матеріал до утвореного двома заслінками вивантажувального перерізу. [1-5]

Основним недоліком дозатора ДК-10 можна вважати складність системи регулювання норми дозування комбікормів із-за багато важільного механізму. Ефективна робота важільного механізму потребує додаткової уваги під час технічного обслуговування. Окрім цього, використовується тільки один спосіб зміни норми дозування кормів – гравітаційний.

Барабанні дозатори (рис. 1.5) позбавлені недоліків шибєрних дозаторів завдяки розширеним межам регулювання кількості дозованого матеріалу. Це досягається за рахунок регулюванню частоти обертання барабана та можливості використання барабанів різних конструкцій (табл. 1.3).

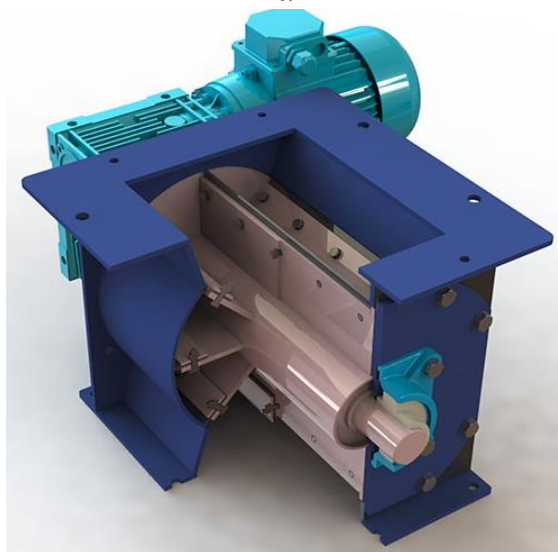
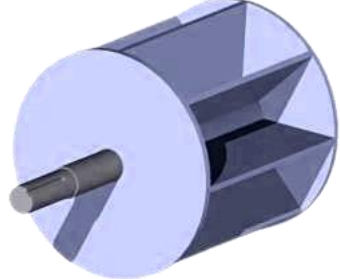
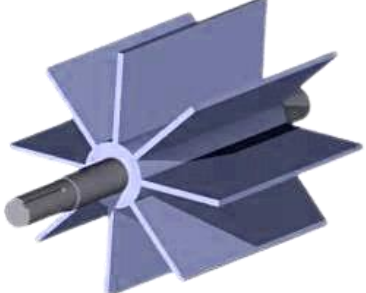
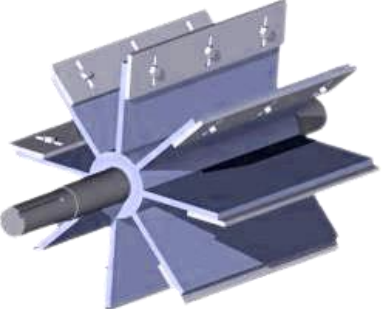
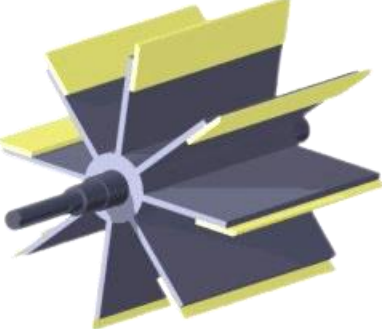
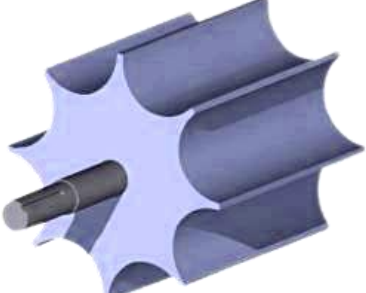
*a**б*

Рис. 1.5. Дозатор барабанний шлюзовий ШП-100: *a* – технологічне використання; *б* – загальний вигляд [10]

Типи робочих органів барабанних (роторних) дозаторів [11]

Тип барабана (ротора)	Зображення
Ротори з закритими торцями дозволяють зменшити втрати повітря та спрацювання бічних поверхонь	
Ротори з відкритими лопатями використовуються як дозатори-живильники у пневматичних або гравітаційних системах дозування	
Ротори із знімними накладками використовують при дозуванні абразивних матеріалів	
Ротори із еластичними подовжувачами лопатей використовують для дозування порошкового матеріалу	
Ротори із комірками використовують у харчовій промисловості для дозування матеріалів із підвищеною липучістю	



Дозатор барабанний шлюзовий ШП-100 (рис. 1.5) призначений для дозованої видачі сипкого матеріалу в технологічних лініях дозування комбікормів або у лініях приготування кормових сумішей. Технічна характеристика наведена у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

## Технічна характеристика дозаторів типу ШП [10]

Показник	Значення		
	ШП-100	ШП-200	ШП-200
Загальна місткість комірок, л.	1,5	6	21
Продуктивність м <sup>3</sup> /год при частоті обертання барабана, об/хв:			
23	0,7	7,3	29
28	0,83	8,6	31
35	1	10,3	35
Споживана потужність приводу, кВт	0,18	0,55	1,5
Габаритні розміри, мм:			
довжина	320	460	650
ширина	340	450	600
висота	210	300	420
Виробник	ТОВ ТК Адара м. Івано-Франківськ		

Дозатори барабанного типу сімейства ШП дозволяють забезпечити дозування концентрованих кормів, комбікормів у технологічних лініях приготування кормових раціонів. Дозування відбувається у загальний транспортер-живильник у неперервному пододі. Норма дозування змінюється дискретно за рахунок зміни частоти обертання барабана та завдяки зміні положення шиберної засувки у бункері. [10]

Проведений аналіз вказує на те, що проаналізовані дозатори сипких компонентів не дають змоги повністю використати резерви конструкційних особливостей виконавчих механізмів. Тому, виникає необхідність у розробленні дозатора сипких компонентів для потреб приготування кормової сумішки на тваринницькому підприємстві.

## **Висновки до розділу 1**

1. Для приготування кормових раціонів або збалансованих комбікормів за відповідною рецептурою використовуються дозатори різного конструкційного виконання та призначення. Найбільш точними є порційні вагові дозатори. Меншою точністю відзначаються вагові дозатори неперервного дозування, але вони мають складну конструкцію та велику вартість. Широкого поширення набули об'ємні дозатори неперервного дозування, оскільки мають допустиму точність та низькі експлуатаційні видатки.

2. Серед дозаторів об'ємного принципу дозування найбільш широко використовуються шнекові та барабанні (роторні) дозатори. Основною їх перевагою є неперервна організація процесу дозування та відносна простота конструкції. Точність дозування об'ємних дозаторів неперервної дії лише на 2 % поступається точності дозування вагових дозаторів неперервної дії. При цьому об'ємні дозатори значно дешевші та вимагають менших експлуатаційних видатків, що робить їх найбільш затребуваними на ринку.

## РОЗДІЛ 2

## РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОЗАТОРА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

## 2.1. Синтез конструкції дозатора

Найбільш прогресивним, на наш погляд, дозатором сипких кормів для дозування комбікормів у лінії приготування кормової суміші є барабанний дозатор. Вибір даного типу дозатора обумовлений тим, що тарілчасті дозатори не забезпечують бажаної продуктивності в умовах поточності приготування кормосуміші, а гравітаційні дозатори, на зразок ДК-10 не задовольняють нас за точністю дозування особливо кормів які утворюють склепіння.

Тому, метою кваліфікаційної роботи є конструювання дозатора барабанного типу, який би увібрав у собі позитивні риси усіх розглянутих дозаторів даного сімейства. Конструкційно-технологічна схема розробленого дозатора наведена на рис. 2.1. [12]

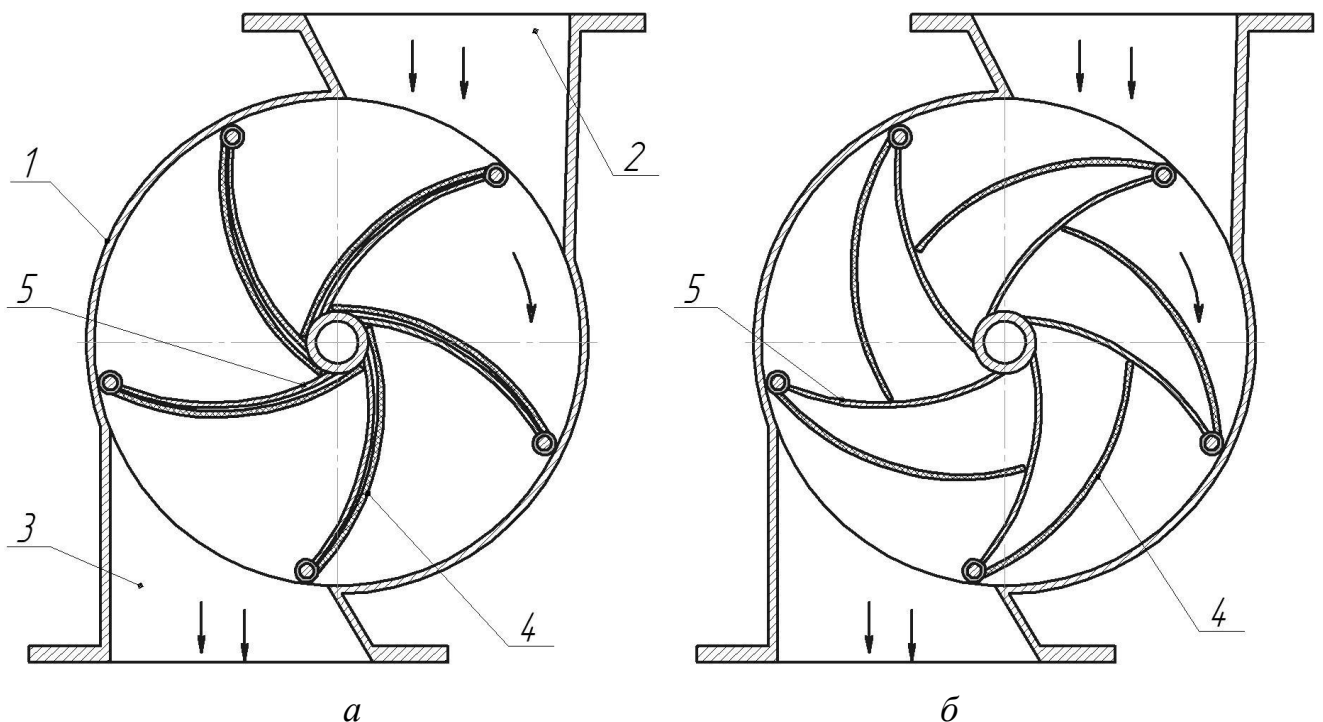


Рис. 2.1. Структурна схема розробленого дозатора: *а* – максимальний об'єм комірок; *б* – зменшення об'єму комірок; 1 – корпус; 2 – вхідна горловина; 3 – вихідна горловина; 4 – рухома лопать; 5 – нерухома лопать

Принцип роботи розробленого дозатора полягає в наступному. Концентрований корм через вхідну горловину надходить до розробленого барабанного робочого органу. Барабан конструкційно поділений на п'ять комірок однакового об'єму. Перша по напрямку обертання комірка заповнюється матеріалом. Провертаючись навколо своєї, осі заповнена комірка звільняється від матеріалу навпроти вихідної горловини. Процес продовжується з наступними комірками, поки не вимкнуть привод дозатора.

Для зміни кількості сипкого компонента, який подається до змішувача, то необхідно змінити об'єм комірок. При цьому частоту обертання барабана не буде змінюватись. З цією метою необхідно перемістити рухомі лопаті в положення, яке відповідало б заданій нормі дозування кормового матеріалу (див. рис. 2.1 б). Для виконання цієї функції будемо застосовувати копір, який за допомогою важільного пристрою та секторного фіксатора дозволить змінити положення рухомих лопатей. [12]

## 2.2. Технологічний розрахунок дозатора

Розрахунок проводиться виходячи із потреби тваринницького підприємства у кількості кормового матеріалу, який використовується для приготування кормової сумішки. Для узгодження роботи лінії дозування концентрованого корму та розробленого дозатора необхідно щоб виконувалась умова: [13-14]

$$Q \geq Q_k, \quad (2.1)$$

де  $Q_k$  – необхідна продуктивність лінії дозування, т/год;

$Q$  – продуктивність розробленого дозатора, т/год.

Продуктивність лінії дозування концентрованих кормів визначається потребою у разовому приготуванні кормової суміші відповідно до раціону та допустимою тривалістю процесу: [14-17]

$$Q_k = \frac{G_{раз}}{T_{дон}}, \quad (2.2)$$

де  $G_{раз}$  – потреба в концормах за одну даванку, кг;

$T_{дон}$  – допустима тривалість приготування кормової,  $T_{дон}=0,5-1,5$  год [14].

Кількість необхідних концентрованих кормів для приготування разової порції корму для свиноферми місткістю 2000 відголівельних голів з утриманням поросят від 4-х до 8-ми місячного віку, становитиме, кг: [14]

$$G_{раз} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \cdot g_i}{k}, \quad (2.3)$$

де  $n_i$  – кількість тварин  $i$ -тої групи, гол;

$g_i$  – кількість концентрованих кормів в структурі раціону  $i$ -тої групи тварин, кг/гол; [14]

$k$  – кількість даванок протягом доби,  $k=2$  [14-16].

$$G_{раз} = \frac{2000 \cdot 1,1 + 2000 \cdot 2,0}{2} = 3100 \text{ кг.}$$

В такому випадку:

$$Q_k = \frac{3100}{0,5} = 6200 \text{ кг/год.}$$

Таким чином, за умови витрати часу на приготування разової даванки кормової сумішки на рівні 0,5 год, мінімальна продуктивність розробленого дозатора має становити 6,2 т/год.

Технологічний розрахунок розробленого барабанного дозатора полягає у визначенні його продуктивності виходячи із конструкційних параметрів прототипу адаптованого до заміни дозатора ДК-10 (прототип) для бункера-живильника концентрованих кормів.

Продуктивність розробленого барабанного дозатора визначається за формулою: [18-19]

$$Q = F_k \cdot l \cdot z \cdot n \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (2.4)$$

де  $F_k$  – максимальна площа комірки, відповідно до конструкційних параметрів дозатора  $F_k=0,0075 \text{ м}^2$ ;

$l$  – довжина комірки, конструкційно становить  $l=0,736 \text{ м}$ ;

$n$  – частота обертання барабана,  $n=0,16 \text{ с}^{-1}$ ;

$z$  – кількість комірок,  $z=5$ ;

$\rho$  – об'ємна вага матеріалу, для комбікорму  $\rho=760 \text{ кг/м}^3$  [13];

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення комірок,  $\varphi =0,90$  [18, 19]

$$Q = 0,0075 \cdot 0,736 \cdot 5 \cdot 0,16 \cdot 760 \cdot 0,9 = 3,974 \text{ кг/с.}$$

Таким чином, максимальна продуктивність дозатора становить 14,3 т/год, що перевищує розраховану за формулою (2.2) продуктивність технологічної лінії дозування, тобто, умова (2.1) виконується. Мінімальна продуктивність при незмінній частоті обертання становитиме 3,8 т/год.

Потужність, яка необхідна для приводу барабана дозатора, буде витрачатися на подолання сил тертя комбікорму, що переміщується барабаном, по шару матеріалу що знаходиться вище.

Сила тертя  $P_t$ , яка виникає при цьому, визначається за формулою: [18, 19]

$$P_t = f \cdot (p \cdot F_{ex}), \quad (2.5)$$

де  $F_{ex}$  – площа поперечного перерізу горловини бункера над барабаном  $F_{ex}=0,162 \text{ м}^2$ ;

$f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя,  $f=0,7$  [18];

$p$  – тиск корму на поверхню барабана, Па [18, 19]:

$$p = \frac{V_{ex} \cdot \rho \cdot g}{F_{ex}}, \quad (2.6)$$

де  $V_{ex}$  – об'єм кормового матеріалу над барабаном, при використанні бункера БСК-10, максимальна величина відповідає максимальному завантаженню бункера  $V_{ex}=0,486 \text{ м}^3$  [3-5];

$g$  – прискорення земного тяжіння,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ .

$$p = \frac{0,486 \cdot 760 \cdot 9,81}{0,162} = 22366,8 \text{ Па.}$$

В такому випадку:

$$P_{\text{тр}} = 0,7 \cdot (22366,8 \cdot 0,162) = 2539,52 \text{ Н.}$$

Потужність, яка необхідна для приводу барабана становитиме: [18, 19]

$$N_{\sigma} = \frac{P_{\text{тр}} \cdot v \cdot k_1}{1000}, \quad (2.7)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, який враховує витрату енергії на можливе додаткове подрібнення від лопаток барабана,  $k_1=1,0$  [3-5, 18, 19];

$v$  – колова швидкість барабана дозатора, м/с: [18, 19]

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \quad (2.8)$$

де  $n$  – частота обертання барабана в об/хв,  $n=9,6 \text{ хв}^{-1}$ ;

$D$  – діаметр барабана,  $D=0,406 \text{ м}$ .

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,406 \cdot 9,6}{60} = 0,204 \text{ м/с.}$$

Тоді, маємо:

$$N_{\sigma} = \frac{2539,52 \cdot 0,204 \cdot 1}{1000} = 0,518 \text{ кВт.}$$

Необхідну потужність двигуна приводу дозатора визначають за формулою: [18-20]

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\sigma} \cdot k_2}{\eta \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (2.9)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує витрату енергії на тертя в робочих органах, в підшипниках та при терті продукту по стінкам дозатора, приймемо  $k_2=1,1$  [18-20];

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії передачі від двигуна до барабана дозатора, для ланцюгової передачі  $\eta=0,97$  [18-20];

$\eta_{\text{дв}}$  – коефіцієнт корисної дії двигуна  $\eta=0,88$  [21].

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,518 \cdot 1,1}{0,97 \cdot 0,88} = 0,66 \text{ кВт.}$$

Отже, для приводу барабана дозатора необхідно обрати електродвигун, потужність якого була б вищою за розрахункову величину. Для нашого

випадку, підходить електродвигун АИМ80А6, який має потужність 0,75 кВт та частоту обертання вала 930 об/хв [20].

### 2.3. Розрахунок на міцність елементів дозатора

Розрахунок на міцність приводного вала (рис. 2.2) виконуємо у наступній послідовності відповідно до відомої методики [18-20].

Визначаємо крутний момент на осі вала барабана дозатора:

$$M_{\sigma} = \frac{N_{\sigma}}{\omega}, \quad (2.10)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання вала,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (2.11)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 9,6}{30} = 1,005 \text{ с}^{-1}.$$

Тоді, маємо:

$$M_{\sigma} = \frac{518}{1,005} = 515,4 \text{ Н}\times\text{м}.$$

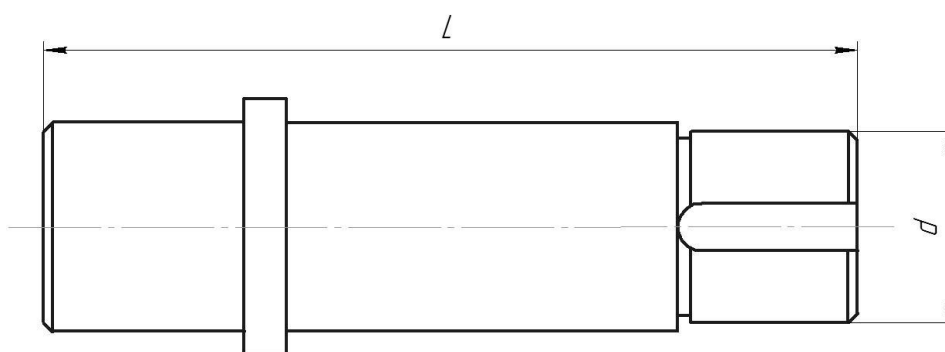


Рис. 2.2. Схема приводного вала барабана розробленого дозатора:  $L$  – довжина вала;  $d$  – діаметр вала

Визначимо діаметр приводного вала таким чином щоб виконувалась наступна умова:



$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\sigma}}{0,2 \cdot [\tau]}}, \quad (2.12)$$

де  $[\tau]$  – допустимі напруження матеріалу цапфи на скручування, для сталі 45  $[\tau]=40$  МПа; [18-20]

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{515,4}{0,2 \cdot 40 \cdot 10^6}} = 0,0378 \text{ м.}$$

Отже, діаметр вала за умовою стійкості до скручувальних зусиль повинен бути більшим за 37,8 мм. Прийmemo, конструкційно, діаметр вала рівним 40 мм із міркувань пропорційності співвідношення між складовими конструкції та конструктивної особливості самого вала.

Перевірочний розрахунок ланцюгової передачі приводу барабана.

В системі приводу барабана будемо використовувати ланцюг роликів однорядний. Розрахунок ланцюгової передачі виконуємо відповідно до відомої методики [21] у наступній послідовності. Визначаємо мінімально необхідний крок ланцюга за формулою:

$$t = 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{\sigma} \cdot k_e}{z \cdot [P] \cdot m}}, \quad (2.13)$$

де  $M_{\sigma}$  – крутний момент на валу барабана, Н×мм;

$k_e$  – коефіцієнт, що залежить від умов монтажу та експлуатації ланцюгової передачі,  $k_e=2,33$ ;

$[P]$  – допустимий тиск в матеріалах ланцюга,  $[P]=40$  МПа [21];

$m$  – число рядів ланцюга, прийmemo  $m=1$ ;

$z_1$  – число зубців ведучої зірки:

$$z_1 = 29 - 2 \cdot i, \quad (2.14)$$

де  $i$  – передаточне відношення ланцюгової передачі:

$$i = \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.15)$$

де  $n_1$  – частота обертання ведучої зірочки, після черв'ячного редуктора частота обертання вала електродвигуна зменшиться на передаточне число даного редуктора становить 63, тому маємо,  $n_1=14,76$  об/хв;

$n_2$  – частота обертання вала дозатора,  $n_2=9,6$  об/хв.

$$i = \frac{14,76}{9,6} = 1,54.$$

Тоді:

$$z_1 = 29 - 2 \cdot 1,54 = 26,92 \quad (2.16)$$

Відповідно до рекомендацій [21] приймемо  $z_1=27$ .

$$t = 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{515,4 \cdot 2,33}{27 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot 1}} = 2,9 \text{ мм.}$$

Отже нам цілком підходить ланцюг з кроком  $t=12,7$  мм типу ПР-12,7 [21].

Перевіряємо ланцюг за дією допустимих зусиль на матеріал ланцюга.

Розрахунковий тиск визначаємо за залежністю:

$$P = \frac{F_t \cdot k_e}{A_{on}}, \quad (2.17)$$

де  $A_{on}$  – проекція опорної поверхні шарніра,  $A_{on}=40 \text{ мм}^2$  [21];

$F_t$  – колова сила, Н:

$$F_t = \frac{N_{\delta}}{v_l}, \quad (2.18)$$

де  $v_l$  – швидкість руху ланцюга, м/с:

$$v_l = \frac{z_1 \cdot t \cdot n_1}{60 \cdot 10^3}, \quad (2.19)$$

$$v_l = \frac{27 \cdot 12,7 \cdot 14,76}{60 \cdot 10^3} = 0,08 \text{ м/с.}$$

Отже:

$$F_t = \frac{518}{0,08} = 6475 \text{ Н.}$$

Таким чином:

$$P = \frac{6475 \cdot 2,33}{40} = 37,7 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності для ланцюга типу ПР-12,7 виконується, так як  $37,7 < 50$  МПа [21].

## Висновки до розділу 2

1. Розроблений дозатор концентрованих кормів барабанного типу зі змінним об'ємом комірок. За рахунок можливості зміни об'єму комірок барабанного дозатора можна отримати бажану подачу під час дозування в технологічній лінії приготування кормової суміші.

2. Виконаний технологічний розрахунок розробленого барабанного дозатора встановив межі можливих регулювань подачі концентрованих кормів заданих фізико-механічних властивостей від 3,8 до 14,3 т/год. Це відповідає необхідній подачі дозатора у 6,2 т/год при приготуванні кормової сумішки на тваринницькому підприємстві.

3. Виконаний розрахунок на міцність приводного вала барабана дозволив встановити, що вал діаметром 40 мм із Сталі 45 витримує зусилля на скручування при максимальній подачі дозатора та заданій частоті обертання.

4. Розрахунок ланцюгової передачі дозволив підтвердити доцільність використання ланцюга типу ПР-12,7 для приводу вала барабана розробленого дозатора. Розрахункова кількість зубів ведучої зірочки становить  $z=27$ , а передаточне відношення ланцюгової передачі рівне  $i=1,54$ .

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ДОЗАТОРА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

### 3.1. Заходи технічної експлуатації розробленого дозатора

Розроблений барабанний дозатор концентрованих кормів (рис. 3.1) забезпечує дозування із бункера БСК-10, аналогічно до прототипу – дозатора ДК-10.

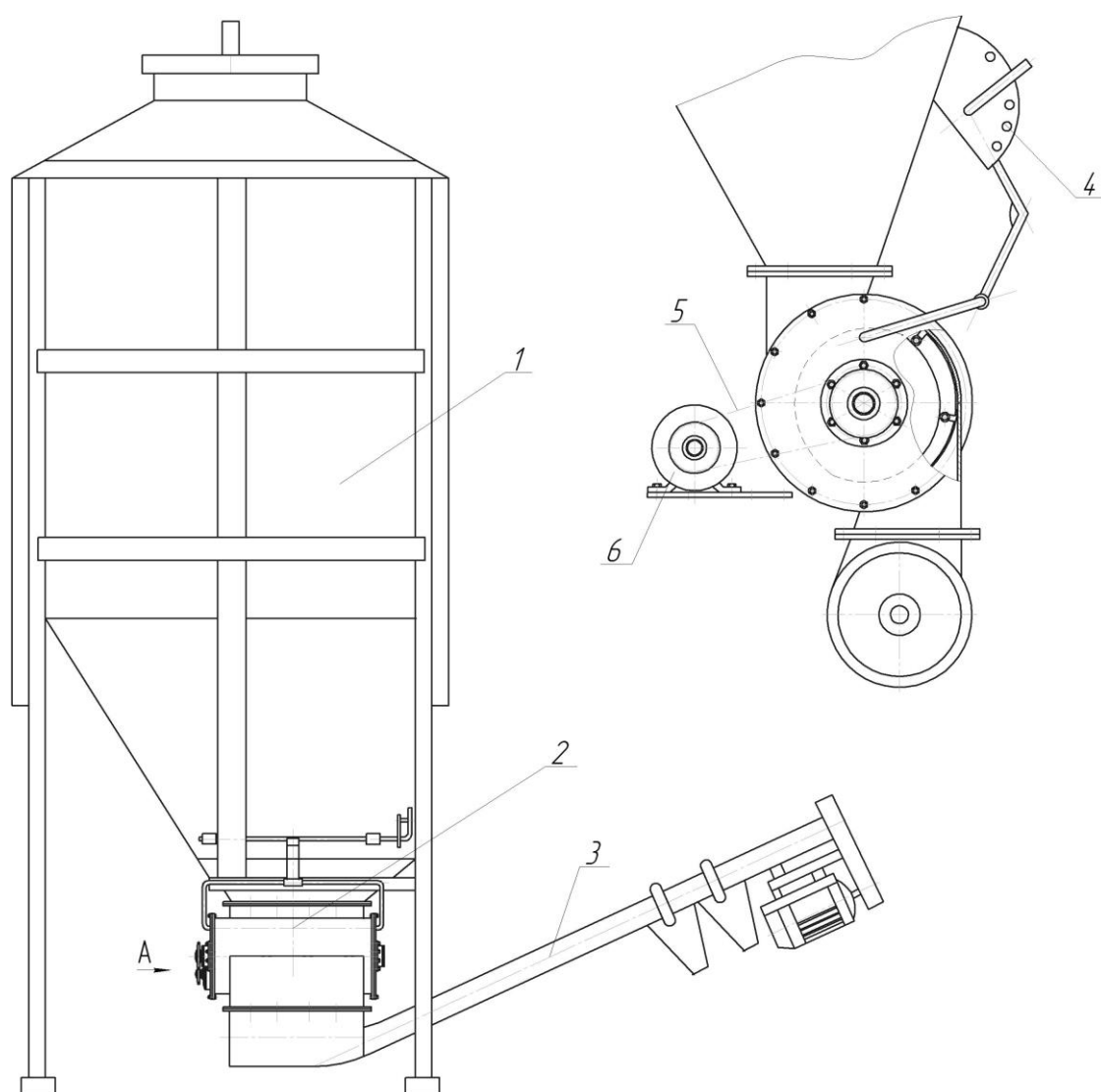


Рис. 3.1. Дозувальний комплекс із розробленим дозатором: 1 – бункер БСК-10; 2 – розроблений дозатор; 3 – вивантажувальний шнек бункера БСК-10; 4 – сектор налаштування копіра; 5 – ланцюгова передача; 6 – мотор-редуктор

З бункера БСК-10 комбікорм під дією сил гравітації надходить у вхідну горловину корпуса розробленого барабанного дозатора (рис. 3.2). Відбувається заповнення комірки, яка буде знаходитись під вихідним отвором бункера. При включенні приводу дозатора, барабан провертається навколо своєї осі. В певний момент дід завантаження потрапить наступна комірка, яка буде наповнюватись в процесі проходження під вихідною горловиною бункера. Так відбувається поки всі п'ять комірок барабана не будуть заповнені, цикл заповнення повторюється до моменту виключення електродвигуна від електромережі. Кількість матеріалу який подає дозатор до вивантажувального шнека залежить від об'єму комірки барабана. Об'єм комірки секторного барабана змінюється за допомогою зміни положення рухомої лопаті. При встановленні певного положення важеля на секторі (див. рис. 3.1), копір займає відповідне положення відносно роликів на кінці рухомих лопатей. Таке регульоване положення зберігається в зоні завантаження дозатора матеріалом.

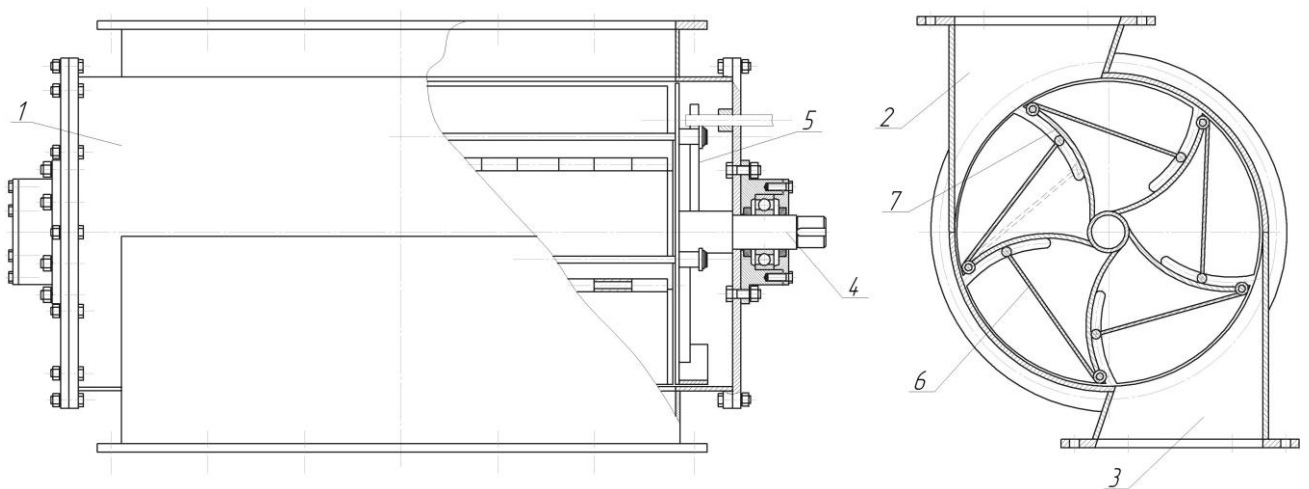


Рис. 3.2. Розроблений барабанний дозатор із комірками змінного об'єму: 1 – корпус дозатора; 2 – вхідна горловина; 3 – вихідна горловина; 4 – приводний вал; 5 – копір; 6 – рухома лопатка; 7 – нерухома лопатка

Порція матеріалу, яка захоплена першою коміркою, спрямовується до вихідної горловини. Виходячи із зони дії копіра, рухома лопатка займає

довільне положення аж до моменту підходу до вхідної горловини дозатора. Пересуваючись роликком по копіру рухома лопать змінює своє положення, рухаючись у пазах диска барабана, при цьому змінюється об'єм комірки і як наслідок змінюється норма дозування корму.

Перевагою розробленого дозатора, порівняно із ДК-10 є значно простіша система налаштування на задану норму дозування. Окрім цього, збільшується кількість можливих налаштувань на потрібну подачу. Обертання барабана під час дозування створює додаткові вібраційні коливання, тому відпадає потреба у використанні зворушувача який вимагає додатковий електропривод. Якщо передбачити можливість зміни передаточного відношення ланцюгової передачі, то можна розширити норми дозування матеріалу за рахунок додаткового регулювання – зміни частоти обертання барабана. Саме таке регулювання є основним при використанні серійних барабанних дозаторів типу ШП для бункерів-живильників.

Перед початком експлуатації дозуючого комплексу необхідно переконатися у повнокомплектності обладнання. Усі обертові частини повинні бути надійно закриті захисними кожухами. Необхідно перевірити цілісність заземлюючого контуру та якість кріплення електричних проводів до електроприладів. Перед початком роботи необхідно виконати всі операції передбачені регламентом щозмінного технічного обслуговування, а також операції чергового технічного обслуговування. Перевірити натяг ланцюгової передачі приводу барабана дозатора та за потреби відрегулювати.

### **3.2. Визначення економічної доцільності використання розробленого дозатора**

Експлуатаційну ефективність розробленого дозатора концентрованих кормів можна визначити шляхом порівняння із прототипом. Для цього скористаємося запропонованими методиками [17, 22]. В основу розрахунку

покладено визначення експлуатаційних видатків та необхідних капіталовкладень для реалізації технологічного процесу дозування комбікормів під час приготування кормового раціону для тварин.

Результати порівняльного аналізу розробленого барабанного дозатора із прототипом – дозатором ДК-10 наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

## Порівняльна оцінка розробки із прототипом

Показник	Обладнання	
	ДК-10	Розробка
Тип дозувального комплексу	бункер БСК-10	бункер БСК-10
Тип дозуючого пристрою	рухомі засувки	регульований барабан
	рамковий зворушувач	-
	електромагніт	-
Продуктивність, т/год	1-8	3,8-14,3
Потужність електроприводу, кВт	1,1	0,75
Балансова вартість, грн	204094,41	182754,78
Собівартість дозування, грн/т	73,589	71,721
Річний економічний ефект, грн	-	6472,84

Відповідно до результатів розрахунків наведених у табл. 3.1, балансова вартість розробленого дозатора дещо нижча порівняно із прототипом. Це можна пояснити значно меншими затратами на виготовлення системи дозування. Так у дозуванні матеріалу у прототипу задіяні аж три елементи – зворушувач, електромагніт та рухомі засувки із системою важільного приводу. При цьому і електромагніт і електродвигун приводу зворушувача постійно включені в електромережу. Це викликає додаткові витрати електроенергії, чого не спостерігається за умови експлуатації розробленого дозатора.

Тому, експлуатаційні видатки при використанні розробленого барабанного дозатора будуть меншими. Це видно по зниженій собівартості дозування розробленим дозатором (див. табл. 3.1). В результаті цього отримуємо майже 6,5 тис. грн річної економії коштів.

### **Висновки до розділу 3**

1. Розроблений дозатор барабанного типу має суттєві переваги перед прототипом ДК-10 за рахунок збільшення можливих норм дозування сипкого матеріалу. Основною перевагою є спрощення процесу встановлення норми дозування за рахунок зміни об'єму комірок барабана при незмінній частоті обертання. Ролик рухомої лопаті рухаючись по копіру змінює своє положення відносно нерухомої лопаті змінюючи об'єм комірки в зоні заповнення. При цьому змінюється норма дозування матеріалу.

2. Експлуатаційні видатки на використання розробленого дозатора порівняно із прототипом знижуються за рахунок меншої вартості та зниженні використання електричної енергії. Завдяки цьому тваринницьке підприємство (2000 свиней на відгодівлі) може заощадити майже 6,5 тис. грн протягом року.



## ВИСНОВКИ

1. Приготування кормових раціонів або збалансованих комбикормів за відповідною рецептурою потребує використання дозаторів різного за конструкційним виконанням та призначенням. Найбільш точними є порційні вагові дозатори. Меншою точністю відзначаються вагові дозатори неперервного дозування. Найбільшого поширення набули об'ємні дозатори неперервного дозування, оскільки мають допустиму точність та низькі експлуатаційні видатки. Основною перевагою дозаторів об'ємного принципу дозування (шнекові та барабанні) є можливість організації неперервного процесу дозування та відносна простота конструкції. Точність дозування об'ємних дозаторів неперервної дії лише на 2 % поступається точності дозування вагових дозаторів неперервної дії.

2. Розроблений дозатор барабанного типу має суттєві переваги перед прототипом ДК-10 за рахунок збільшення можливих норм дозування сипкого матеріалу. Основною перевагою розробки є спрощення процесу встановлення норми дозування за рахунок зміни об'єму комірок барабана при незмінній частоті обертання.

3. Виконаний технологічний розрахунок розробленого барабанного дозатора, встановлено межі можливих регулювань подачі концентрованих кормів заданих фізико-механічних властивостей від 3,8 до 14,3 т/год. Виконаний розрахунок на міцність приводного вала барабана встановив, що вал діаметром 40 мм із Сталі 45 витримує зусилля на скручування при максимальній подачі дозатора на заданій частоті обертання. Розрахунок ланцюгової передачі дозволив підтвердити доцільність використання ланцюга типу ПР-12,7 для приводу вала барабана розробленого дозатора.

4. За рахунок меншої вартості розробки та зменшення на 46,7 % витрат електроенергії знижуються експлуатаційні видатки, порівняно із прототипом. Завдяки цьому тваринницьке підприємство (2000 свиней на відгодівлі) може заощадити майже 6472,84 грн на рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механізація виробництва продукції тваринництва. / І. І. Ревенко, Г. М. Кукта, В. М. Манько та ін.; за ред. І. І. Ревенка. К.: Урожай, 1994. 264 с.
2. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машина та обладнання для тваринництва. К.: Кондор, 2009. 731с.
3. Хоменко А. В., Довбня К. Д. Машина та для дозування кормів: курс лекцій. ч. 1. Тернопіль, 2012. 226 с.
4. Хоменко А. В., Довбня К. Д. Машина та для дозування кормів: курс лекцій. ч. 2. Тернопіль, 2013. 228 с.
5. Посібник-практикум: машина та обладнання для тваринництва / І. І. Ревенко та ін. К.:Кондор, 2011. 396 с.
6. Медведський О. В., Тарасевич А. М. Оцінка класифікаційних ознак дозаторів сипких матеріалів. *Наукові читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 19 квітня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. Т. 2. С. 19–20.
7. Машина для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.
8. Машина та обладнання для тваринництва: в 2 т. / за ред. І. Г. Бойко. Харків, 2006. 502 с.
9. Шнековий дозатор з ваговою платформою: веб-сайт. URL: <https://sweda.com.ua/produktsiya/nazvanie/>
10. **Шлюзовий живильник (затвор) ШП-100.** Адара: веб-сайт. URL: <https://adara.ua/ua/categories/shluzovie-pitateli-kategoriya/shluzovoy-zatvor-shp-100>
11. Шлюзові затвори, дозатори, живильники. *Вималспецбуд*: веб-сайт. URL: <https://spetsbud.vimal.ua/ua/gate-valves>
12. Тарасевич А. М. Розроблення функціональної схеми дозатора. Матеріали науково-практичної конференції *1-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей*. 18 січня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 18–20.

13. Проектування технологічних процесів та технічних засобів у тваринництві: навч. посіб. / за ред. Сидоренка О. П. Харків: НТУСГ, 2010. 406 с.

14. Ресурсозберігаючі технології виробництва свинини: теорія і практика: навч. посіб. / за ред. О. М. Царенка. Суми: ВДТ «Університетська книга», 2004. 269 с.

15. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва / Г. М. Калетнік, М. Ф. Кулик, В. Ф. Петриченко, В. Д. Хорішко та ін.; за ред. Г. М. Калетніка, М. Ф. Кулика, В. Ф. Петриченка. Вінниця: «Енозіс», 2007. 584 с.

16. Ревенко І. І., Манько В. М., Кравчук В. І. Машиновикористання у тваринництві ; за ред. І. І. Ревенка. К.: Урожай, 1999. 208 с.

17. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. / І. І. Ревенко, В. Д. Роговий, В. І. Кравчук ; за ред. І. І. Ревенка. К.: Урожай, 1999. 192с.

18. Шабельник Б. П., Троянов М. М. Теорія та розрахунок машин для тваринництва. Х.: ХДТУСГ, 2002. 216 с.

19. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Ю. С. Рудь; 2-е вид., перероб. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д. О., 2015. 492 с

20. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 556 с.

21. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник / за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.

22. Дипломне та курсове проектування. / за ред. О. В. Дацишина. К.: Урожай, 1996. 192 с.