

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра технологічних процесів та обладнання переробних і харчових  
виробництв

Допущений до захисту:  
Завідувач кафедри  
к.т.н., доцент Токарчук О.А.

\_\_\_\_\_

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА  
ЗБАЛАНСОВАНИХ КОМБІКОРМІВ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи \_\_\_\_\_

Ковтун Олександр Леонідович

\_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доцент  
Присяжнюк Дмитро Володимирович

\_\_\_\_\_

## ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технологічних процесів та  
обладнання переробних і харчових  
виробництв

Інженерно-технологічний  
факультет

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

зав. кафедри ТП та ОПХВ

“ \_\_\_\_\_ ”

\_\_\_\_\_

2023 р.

**ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

студенту \_\_\_\_\_ Ковтуну Олександрю Леонідовичу \_\_\_\_\_.

на тему

«Розробка та дослідження технології виробництва збалансованих комбікормів»

затверджену Наказом від \_\_\_\_\_ 02 грудня 2022 року \_\_\_\_\_ № 187м \_\_\_\_\_.

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

### Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		2	жовтень 2023 року	
Вступ		2	березень 2023 року	
Розділ 1	Стан проблеми, мета та завдання досліджень	25	березень - вересень 2023 року	
Розділ 2	Обґрунтування структури виробництва комбікормів	20	квітень – липень 2023 року	
Розділ 3	Методичні основи визначення ключових напрямків вдосконалення системи внутрішнього господарського комбікормового виробництва	28	червень- вересень 2023 року	
Розділ 4	Методика досліджень	19	серпень- жовтень 2023 року	
Висновки		2	жовтень 2023 року	
Список використаної літератури		4	березень- жовтень 2023 року	

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Завдання видано «03» \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2022 р.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ О.Л. Ковтун

Керівник \_\_\_\_\_ Д.В. Присяжнюк, к.т.н., доцент.

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота містить 103 сторінок машинописного тексту. Текст записки включає в себе вступ, чотири розділи, висновки та список літературних джерел, в тому числі 4 таблиці і 40 рисунків, використано 25 формул. Список використаних джерел містить 33 першоджерел.

В роботі розглянуто основні сучасні системи виробництва біобезпечної продукції у тваринництві, птахівництві та рибористві є організація виробництва повнораціонних комбікормів. Забезпечити адаптивність впровадження сучасних технологій кормовиробництва доцільніше у межах внутрішньогосподарського виробництва.

А також розвиток внутрішньогосподарського виробництва повнораційних комбікормів вимагає визначення меж економічної ефективності внутрішньогосподарських комбікормових підприємств, умов їх максимально ефективного в організаційно-технологічному плані використання, структурної та технологічної адаптації існуючих та перспективних технологій до різноманіття умов господарювання в АПК.

Розглянуто раціональні значення параметрів і режими роботи похилого порційного змішувача об'ємом 3 м<sup>3</sup> зі шнеково-лопатевим робочим органом для приготування кормосумішей, що відповідає зоотехнічним вимогам при нерівномірності перемішування менше 5%, за умови до мінімальної енергоємності процесу змішування компонентів належать: частота обертання валу  $n = 25-36$  хв<sup>-1</sup>; коефіцієнт заповнення змішувальної камери  $k = 0,47-0,52$ ; тривалість змішування  $t = 3,5-4,5$  хв.; кут нахилу камери змішування  $\varphi = 26-28^\circ$ .

А також доцільність високоякісних кормів, які збагачені протеїном та природним каротином, у тому числі і виробництва органічної продукції тваринництва, у таких галузях, як свинарство, птахівництво та рибориство.

Ключові слова: комбікорм, мобільний агрегат, сировина, технологічні операції.

## ANNOTATION

The master's thesis contains 103 pages of typewritten text. The text of the note includes an introduction, four chapters, conclusions and a list of literary sources, including 4 tables and 40 figures, 25 formulas are used. The list of used sources contains 33 primary sources.

The paper examines the main modern production systems of bio-safe products in animal husbandry, poultry and fish farming, as well as the organization of the production of complete ration compound feed. It is more expedient to ensure the adaptability of the introduction of modern fodder production technologies within the limits of intra-farm production.

Also, the development of intra-farm production of full-rational compound feed requires determining the limits of economic efficiency of intra-farm compound feed enterprises, the conditions for their maximally effective organizational and technological use, structural and technological adaptation of existing and promising technologies to the diversity of management conditions in the agricultural sector. The rational values of the parameters and the modes of operation of the inclined batch mixer with a volume of 3 m<sup>3</sup> with an auger-blade working body for the preparation of fodder mixtures, which meets the zootechnical requirements with an uneven mixing of less than 5%, provided that the minimum energy consumption of the process of mixing the components are considered: shaft rotation frequency  $n = 25-36 \text{ min}^{-1}$ ; filling factor of the mixing chamber  $k = 0.47-0.52$ ; duration of mixing  $t = 3.5-4.5 \text{ min.}$ ; angle of inclination of the mixing chamber  $\varphi = 26-28^\circ$ . As well as the expediency of high-quality feed, which is enriched with protein and natural carotene, including the production of organic livestock products, in such industries as pig farming, poultry farming and fish farming.

Keywords: compound feed, mobile unit, raw materials, technological operations.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	10
1.1. Сучасний стан кормового виробництва та його технічне оснащення.....	10
2. ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ .....	34
2.1. Аналіз потреб сільгосппідприємств у повнораційних кормах та вимоги до їх складу та якості .....	34
2.2. Обґрунтування мобільних автономних технологічних модулів. Область їх застосування та робочі цикли .....	39
2.3. Раціональні параметри автономних мобільних та стаціонарних технологічних модулів для приготування комбікормів .....	50
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ .....	53
3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВНУТРІШНІГОСПОДАРСЬКОГО КОМБІКОРМОВОГО ВИРОБНИЦТВА .....	54
3.1. Характеристики та класифікація потоків сировини при внутрішньогосподарському виробництві комбікормів .....	54
3.2. Системний аналіз внутрішньогосподарської технологічної системи виробництва комбікормів .....	56
3.3. Загальний алгоритм формування потокових технологічних операцій виробництва комбікормів .....	62
3.4. Алгоритм та модель оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового підприємства.....	65
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ .....	81
4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	82
4.1. Методика експериментальних досліджень .....	82
4.1.1. Методика визначення техніко-експлуатаційних показників мобільного агрегату для подрібнення, змішування та видачі комбікорму .....	82

4.1.2. Методика визначення основних конструктивно-технологічних параметрів обладнання для введення в комбікорм рідких інгредієнтів з метою знезараження та збагачення .....	86
4.2. Методика лабораторних досліджень щодо обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв сушіння вегетативної рослинної маси з використанням енергії НВЧ .....	91
4.4. Методика лабораторних досліджень щодо обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв сушіння вегетативної рослинної маси конвекцією .....	95
ВИСНОВОК .....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	103

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Розвиток тваринництва та птахівництва характеризується зростанням поголів'я та продуктивності сільськогосподарських тварин. З цим безпосередньо пов'язане збільшення споживання зерна та бобів на внутрішньому ринку.

Водночас зростання споживання фуражного зерна на внутрішньому ринку дедалі ДСТУріше ставить питання про його біобезпеку. Традиційно зерно низької якості, непридатне за вмістом білка та зараженості до експортних поставок та харчового виробництва, прямувало на переробку в корми для тварин та птиці.

Потреба у вирішенні сучасних викликів у подальшому вдосконаленні галузі кормовиробництва дозволяє сформулювати розв'язувану цими дослідженнями наукову проблему як створення наукових та методичних основ розробки технологічних та технічних рішень для ефективного внутрішньогосподарського виробництва комбікормів, адаптації та оптимізації структури до умов наявних виробництв та сировини. та електроенергії.

**Мета роботи** – системний синтез науково-обґрунтованих технологічних та технічних рішень для підвищення ефективності внутрішньогосподарського комбікормового виробництва.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проектування внутрішньогосподарських комбікормових підприємств для основних галузей тваринництва, у тому числі які випускають продукцію органічного типу, виявити напрямки вдосконалення технологій виробництва.

2. Оцінити перспективи проектування нових внутрішньогосподарських комбікормових виробництв, розробити інструментарій для оптимізації їх структур та складу.

3. Розробити процедуру синтезу енерго- та ресурсозберігаючих технологічних ліній для виробництва комбікормів та балансуєчих добавок.



4. Розробити перспективні енергозберігаючі технології та обладнання, що їх реалізує, та технічні засоби для виробництва комбікормів та балансуєчих добавок в умовах господарств.

5. Встановити теоретичні та експериментальні залежності, що характеризують процес трансформації початкової сировини у якісний корм з обґрунтуванням оптимальних конструктивно-режимних та технологічних параметрів технічних засобів та обладнання.

**Об'єкти дослідження** – структурно-системні зв'язки, технологічні схеми та технологічні процеси внутрішньогосподарського комбікормового виробництва.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу технологічних рішень, процесів та параметрів обладнання на показники ефективності внутрішньогосподарського виробництва комбікормів.

## **1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **1.1. Сучасний стан кормового виробництва та його технічне оснащення**

Тваринництво – одне з найважливіших складових агропромислового виробництва, рівень розвитку якого значною мірою означає продовольчу безпеку країни.

У сучасних умовах значно вигідніше збільшувати обсяги виробництва тваринницької продукції, ніж нарощувати експорт зерна. Ринок молока та м'яса є перспективним, оскільки зі зростанням доходів населення середньодушове споживання м'яса зростатиме з 73 до 83 кг на рік, а молока 225,2 кг.

Зростання експортних поставок зерна, що намітилося в останні роки, призвело до того, що успішне і ефективне функціонування галузей, що виробляють тваринницьку продукцію, в першу чергу визначається саме раціональним використанням зерна в раціонах тварин і птиці. Незбалансованість раціонів, насамперед за білком, вітамінами та мінералами призводить до зростання витрат кормів на одиницю приросту живої маси або одиницю маси кінцевої продукції [8].

За загальною структурою корми для тварин поділяються на такі групи: грубі (сіно, солома), соковиті (рослинна вегетативна маса – трава, силос, коренеклубнеплоди), концентровані (зернобобові, шроти, макухи, висівки), відходи харчових виробництв та добавки (протеїнові, вітамінні, макро-мікроеліменти, ферменти, пробіотики, пребіотики та ін.).

Структура стосовно виробництва є швидше динамічною і адаптивною, з взаємним доповненням зазначених блоків. Так відходи харчової та пивоспиртової промисловості – цінна білкова добавка, багата на енергію мелясу, покращує властивості гранул, соковиті корми в раціонах свиней та птиці є свого роду пробіотиками та покращують обмін речовин.

Згодовування тварин окремих видів кормів не може повною мірою забезпечити їх потребу в необхідних поживних речовинах. Жоден вид корму містить необхідного для організму тварин повного набору азотистих і мінеральних речовин, вітамінів, пребіотиків тощо. Тварини, які отримують однакові неповноцінні корми, відстають у розвитку, продуктивність їх падає, витрата кормів на одиницю тваринницької продукції збільшується і, як наслідок, знижується рентабельність її виробництва. Те саме відбувається і у разі згодовування кормів у непідготовленому вихідному вигляді [2].

Найбільш поживні речовини корму засвоюються при згодовуванні приготованої з різних видів кормів суміші, складеної на основі наукових даних про фізіологію годування.

У скотарстві світова наука та практика розробили низку прогресивних систем годівлі тварин [1]. Однією з найперспективніших є технологія годівлі великої рогатої худоби, відповідно до якої всі види кормів лунають тваринам одночасно у вигляді збалансованої поживності кормосуміші, приготовленої в багатофункціональних агрегатах - подрібнювачах-змішувачах-роздавачі кормів [4]. Для реалізації цієї технології у світі виробляють щороку понад 30 тис. багатофункціональних агрегатів. Всі багатоцільові агрегати оснащуються тензометричними пристроями, що зважують, що дозволяють отримувати кормосуміші з різним вмістом кормових компонентів [1].

Досвід показав, що технологія годівлі великої рогатої худоби повноцінними кормосумішами, приготовленими в змішувачах-роздавачі кормів, найбільш ефективна в добре оснащених, економічно міцних господарствах, орієнтованих на виробництво високопродуктивних кормових культур, таких як кукурудза, кормові коренеклубнеплоди, соя відрізняє висока енерговитратність виробництва та вимогливість до вологозабезпечення.

Концентровані корми та добавки прийнято доцільним виробляти у вигляді однорідної збалансованої суміші – комбікорму [5]. Склад комбікорму визначається певною рецептурою, що враховує індивідуальні потреби різних видів, порід і статево груп сільськогосподарських тварин і птахів [3].

У раціоні годівлі тварин та птахів комбікорми становлять переважну частку: для птахів – 95-100%, свиней – 85-90%, для великої рогатої худоби – 24-30%. Тому цінові та якісні показники комбікорму відіграють ключову роль у кінцевих результатах виробництва тваринницької та птахівничої продукції [56].

Світове виробництво комбікормів зросло протягом останніх років до 954,4 млн. тонн у 2012 році і вже з 2015 року перевищує позначку 1 млрд. тонн, за підсумками 2018-го показник склав 1,103 млрд. тонн [168]. Найбільші країни-виробники у галузі – Китай, США, Бразилія, Індія, Мексика та Іспанія. До речі, всі ці країни, окрім Бразилії, 2018 року наростили обсяги виробництва. У Китаї обсяги виробництва зросли на 5,4% до 187,9 млн. тонн.

Для господарств реальною перспективою є перехід ринку органічної продукції, де премія до виробництва сягає 300% [7]. Ринок органічних продуктів – один із найбільш динамічно розвивається у світі. З 2000 до 2017 року він зріс більш ніж у п'ять разів (з 18 до 97 млрд. доларів). За прогнозами Grand View Research, ринок продовжить своє зростання зі швидкістю 15–16% на рік і досягне в 2025р. близько 212-230 млрд. доларів [2]. Планується, що до 2025 року обсяг ринку органічних продуктів може становити від 3 до 5% від світового ринку сільгосппродукції.

Однак перехід на виробництво органічної продукції призводить до повного переформатування кормової бази та процесу кормоприготування. Так заборона застосування антибіотиків веде до обмежень щодо накопичення готового корму, необхідності точного дозованого введення пробіотиків і пребіотиків з урахуванням дріжджових і бактеріальних культур [9]. Амінокислоти штучного синтезу повинні замінитися комплексом природних білків, які найчастіше важко отримати у традиційному сипучому вигляді. Найважливішим питанням ставати логістика видачі кормів різним групам тварин, виключаючи повністю залежування, а також консервація поживних речовин від окислення.

Тенденції розвитку світового кормовиробництва свідчать про збільшення використання кормів як гранул. Так, у Нідерландах 86% кормів у тваринництві

використовують у гранульованому вигляді, зокрема 99% кормів для годівлі ВРХ, 93% - свиней і 54% - птиці [6].

Розглядаючи можливості інтенсифікації «органічного» тваринництва через призму кормоприготування, необхідно вирішити задачу вдосконалення систем годівлі тварин, птахів та об'єктів аквакультури за рахунок забезпечення суворих норм дозування інгредієнтів та якості кормів, що готуються. Переваги приготування комбікормів в умовах господарств можна реалізувати шляхом використання надійних, відносно простих в експлуатації та порівняно недорогих кормоприготувальних пристроїв та установок, які дозволяють не тільки виробляти концентровані суміші з місцевої сировини та мінеральних добавок, а й покращувати їхню поживну цінність [2]. Аналіз існуючих комбікормових агрегатів, дозволяє зробити висновок, що наявність на ринку великої кількості найменувань цих агрегатів не дозволяє надати перевагу одному з них. Усі вони мають свої переваги та недоліки. У зв'язку з цим розробка типорозмірного ряду модульних цехів для виробництва високоякісних комбікормів з низькими питомими енерговитратами процесу та високою якістю продукції є важливим науково-технічним завданням [6].

Тому згідно з сучасними тенденціями розвитку тваринницьких галузей найбільш раціональним є проектування універсальних, багатофункціональних технічних засобів, стаціонарного та мобільного виконання, економічно доступних для середніх та малих виробництв. Відомо, що виробництво кормів високої якості з новими балансуєчими добавками стримується недоліком нових переробних технологій та енергоефективного обладнання.

На сучасних комбікормових виробництвах вже мають бути реалізовані такі прогресивні процеси [6]:

- Застосування електронно-обчислювальної техніки для розрахунку оптимальних по поживності та собівартості рецептів;
- Застосування високоефективного технологічного обладнання, що забезпечує необхідну якість переробки;

– дозування компонентів з високою точністю за заданим рецептом на вагових дозаторах, що дотримуються точності рецептур;

– додаткова термобарометрична обробка з метою підвищення засвоюваності та біобезпеки корму.

В останні роки держава приділяє цьому питанню велику увагу, і з метою розвитку сільських поселень, підтримки малих та середніх форм господарювання реалізує різноманітні державні програми та гранти [12]. Важливим елементом при цьому є розвиток та вдосконалення кормової бази господарств, оскільки переважно від неї залежить стан тварин, їхня продуктивність, а отже, і продовольча безпека країни .

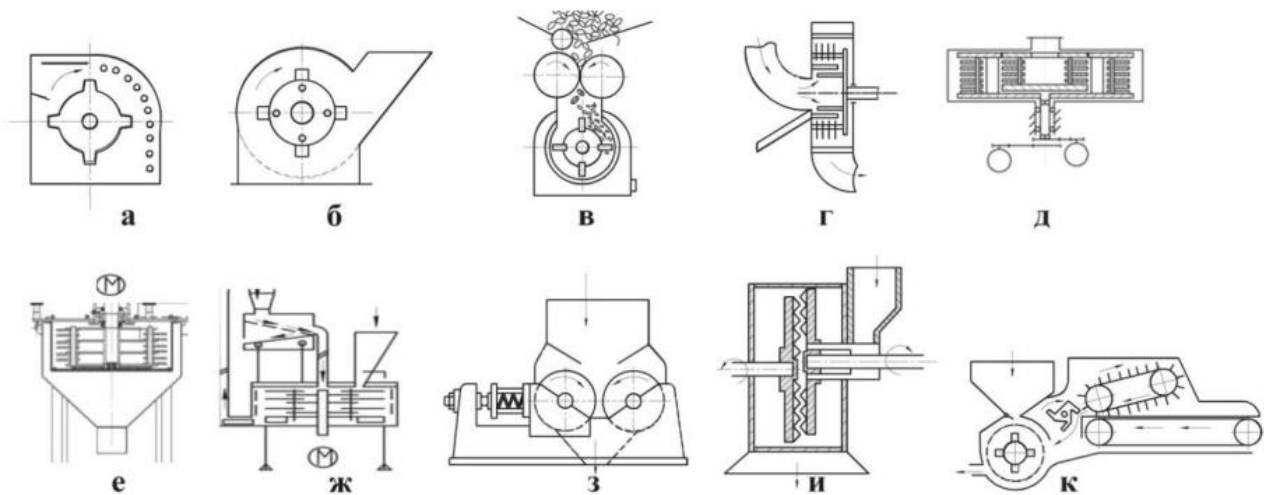
У початковій стадії технологічного процесу приготування комбикормів сировина, що надходить, піддається очищенню від різних домішок. Зернову сировину на комбикормових заводах піддають попередньому очищенню від бур'янів, мінеральних та металомагнітних домішок, а також повітряному очищенню від зернового пилу [5, 15].

Попереднє очищення зерна від великих домішок (камені, рослинні залишки) здійснюють на барабанних скальператорах. Широко відома конструкція скальператора на прикладі сепаратора зернофуражу СФ50.

У технології приготування комбикормів найвідомішим і найпоширенішим процесом є подрібнення (дроблення), обумовлене фізіологією організму тварин. Подрібнення піддається основна частина сировини – фуражне зерно, макухи та шроти, мінеральна сировина. В результаті подрібнення утворюється безліч часток з високорозвиненою поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення та підвищенню засвоюваності поживних речовин. З допомогою подрібнення зерна продуктивність тварин підвищується на 10...15 % [13]. Енергетично подрібнення кормів є досить витратною операцією [3, 6].

Технологічний результат подрібнення будь-яким відомим способом залежить від форми і кінематики робочих елементів, сукупності їх взаємодії з продуктом, що подрібнюється, способів і інтенсивності підведення і відведення сировини.

Найпоширеніший вид подрібнювачів у комбикормовому виробництві – молоткові дробарки. Вони відрізняються широким спектром конструкцій та орієнтацією основного робочого ротора – з шарнірним (частіше) та жорстким кріпленням робочих органів, з горизонтальним та вертикальним розташуванням валу ротора [8]. Широко відомі дробарки КД-2А, ДМ4, КУ-203. Дискові подрібнювачі відомі з горизонтальним та вертикальним положенням осі обертання, роздільним приводом дисків з рухомим верхнім або нижнім жорном або диском. Внаслідок досить складного виготовлення робочих органів та регулювань при зміні розміру зерна не знайшли широкого поширення в нашій країні



Молоткові дробарки – а – відкритого, б – закритого типу; в, г, д – двоступінчасті; д, е, ж - з вертикальною віссю; з - вальцова; та – дисковий; до – комбінований.

Рисунок 1.1 – Основні типи зернових подрібнювачів

Для збільшення засвоюваності та підвищення харчової цінності фуражного зерна застосовують і інші способи обробки механічні та термічні, а саме плющення, екструдкування, експандування, мікронізація, підсмажування, пропарювання, варіння, та біологічні дріжджування, введення бактеріальних заквасок.

Відомі різні способи термообробки фуражного зерна, що дозволяють досягти бажаного ефекту. Усі вони відрізняються високими питомими витратами енергії (від 250 до 500 кВт/т). Найбільш ефективним за якістю обробки

визнається спосіб, що називається мікронізацією. Це теплова обробка тонкого шару фуражного зерна інтенсивним (більше 10 кВт/м<sup>2</sup>) короткочасною азією інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі 1,8-3,4 мкм.

Практично встановлено, що в результаті мікронізації зерна набухання крохмалю збільшується з 30 до 70%, розчинність – з 12,8 до 109,3 мг/г, ступінь декстринізації – з 12 до 78%, вміст цукрів – з 5,6 до 9,6%, покращуються смакові якості зерна, знижується його механічна міцність, внаслідок чого знижуються енерговитрати організму тварини на травлення кормів [1]. Знижується також бактеріальна обсімененість фуражного зерна на 70-100%.

Внаслідок мікронізації ступінь декстринізації крохмалю становить не менше: для пшениці – 30%; для ячменю – 40%; для кукурудзи – 50%. Однак процес мікронізації зерна методом ІЧ-нагріву є енергоємним, споживання енергії становить не менше 300 кВт·год/т.

У СЕНД ІМЕСГ було розроблено двоетапний процес мікронізації зерна. Попередньо сировина будь-яким способом підігрівається до температури, близької до початку інтенсивного пароутворення води в капілярах, а завершальний етап забезпечує практично «вибух» зерна з руйнуванням структури, перехід нативного крохмалю в форму, що легко засвоюється – декстрини. При цьому завершальний етап здійснюється за допомогою мікрохвильового нагрівання зерна.

Модель процесу мікронізації зерна при використанні НВЧ-нагріву близька до моделі мікронізації при ІЧ-нагріві, але ефективніша. Зокрема, глибина проникнення в зерновий матеріал НВЧ-енергії застосовуваного діапазону (915 і 2400 МГц) значно вище. Це дає можливість проводити обробку на достатню глибину в матеріалі, що витікає, значно знижуючи втрати тепла в навколишнє середовище.

Найбільш відповідальною стадією приготування кормів є їхнє змішування. Це з найважливіших операцій, оскільки від рівномірності розподілу у складі суміші всіх її інгредієнтів залежатиме добове споживання всіх необхідних компонентів тваринами [6, 18]. При приготуванні кормів за умов невеликих



виробництв, тобто. які мають, переважно, одним пристроєм для змішування повинен мати достатньої універсальністю, наприклад, змішування можна поєднувати з дозуванням. Ефективний пристрій повинен якісно змішати як реологічно однорідні (сипкі, в'язкі), так і неоднорідні корми при приготуванні сумішей з додаванням сухих матеріалів відмінної щільності, рідких (на основі води та олій), вологих та в'язких компонентів рослинного та тваринного походження.

Нині низка підприємств випускає досить велику номенклатуру змішувачів кормів періодичного впливу [4].

Одновальні змішувачі призначені в основному для отримання однорідної маси з подрібнених компонентів зернових культур, балансуєчих сухих і рідких (не більше 10 %) добавок (меляса, жир, олія та ін.).

Двухвалі лопатеві змішувачі призначені для приготування складніших кормових сумішей, наприклад, з різною насипною щільністю. Заявлена неоднорідність суміші вбирається у 10%, а час змішування трохи більше 2 хв. Пристрій змішувача з дрібнокрапельним дозатором дозволяє отримувати також суміш сипких інгредієнтів та рідких (не більше 10%).

Фірма «ARDON» постачає італійські змішувачі одновальні серії WBH із місткістю камери до 15 м<sup>3</sup>. Час змішування сухих компонентів за інформацією виробника становить 2-4 хв (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Одновальний змішувач періодичної дії серії WBH

До комплекту поставки передбачено частотне регулювання частоти обертання робочого валу, змішувач укомплектований дезагломераторами оригінальної конструкції, форсунками для внесення рідких добавок та пристроєм для оперативного контролю температури. Залежно від виду компонентів, що змішуються, комплектується різними активними робочими органами (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Робочі органи змішувача «ARDON» серії «WBH»

Лопатеві змішувачі виготовляються з нержавіючої сталі в одно і двовальному виконанні. Продукт перемішується радіальними лопатями, щодо поверненими валу на деякий кут.

Залежно від основної реологічної основи суміші пропонується використовувати лопатки декількох типів (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Основні типи робочих органів змішувачів

При змішуванні значних обсягів сипких компонентів з рідкими добавками при появі ефекту комкування та налипання сировини на робочі органи використовується плуговий змішувач (рис. 1.5)



Рисунок 1.5 – Змішувач із плугоподібними робочими органами

Основна відмінність даних змішувачів від описаних раніше в тому, що увігнуті лопатки - "плуги", регулюються зазором з камерою і розташовані L-образно. Тому при обертанні валу вони переміщують продукт від центру до країв і повільніше при розвантаженні від країв до вивантажувального вікна. По краях валу встановлені вузькі лопатки, що зчищають обидві торцеві поверхні.

Заводом випускається широкий асортимент стрічкових змішувачів, що використовуються переважно для змішування сипучих матеріалів, що налипають і мають в конструкції таку незаперечну перевагу як невисокий стартовий момент при зупинці із заповненою ємністю бункера.

Вал стрічкового змішувача є ротор із закріпленими на ньому штангами спіральними стрічками великого і всередині нього малого діаметра (рисунок 1.6). Спіральні стрічки двоскладові - з право- та лівозахідної частини. При роботі змішувача сировина стрічкою великого діаметра зсувається вздовж осі у центр корпусу, а стрічкою малого діаметра розподіляється до країв ємності

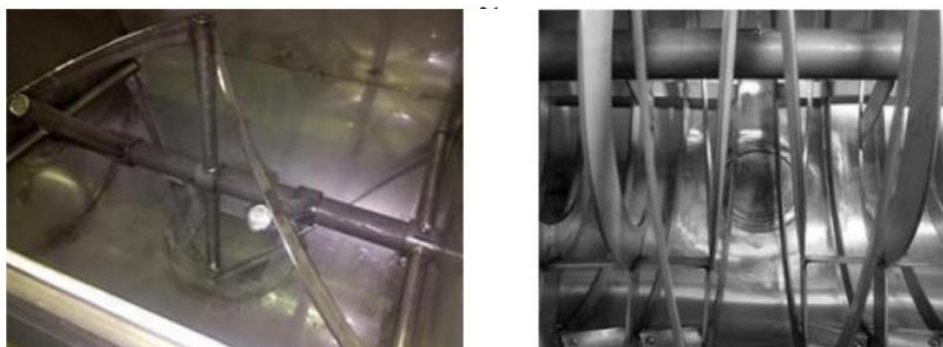


Рисунок 1.6 – Робочі органи стрічкових змішувачів СЛ-0,5 та СЛ-1,2

Змішувальне обладнання для кормовиробництва тих самих типів з різними варіаціями виконання пропонується рядом зарубіжних підприємств-виробників.

Так, одна з провідних фірм з виробництва змішувального та іншого кормоприготувального обладнання на ринку Євросоюзу компанія HIMEL Maschinen GmbH&Co пропонує асортимент обладнання для малих, середніх та промислових комбікормових підприємств.

Так, одновальний горизонтальний змішувач періодичної дії, що випускається цією фірмою, з стрічковим робочим органом (рисунок 1.7) призначений для однорідних сипких сумішей. Змішувачий орган також складається з протилежно спрямованих спіралей. Продуктивність залежить від складності суміші та становить від 1,5 до 10 т/год.



Рисунок 1.7 – Стрічковий змішувач фірми HIMEL Maschinen

Фірма Amandus Kahl GmbH із Німеччини пропонує оригінальні конструкції своїх порційних змішувачів. Лопаті незалежно одно- і двох вальних змішувачів розташовані на шестигранних змішувальних валах зі зміщенням 60 градус спіралеподібно. Конструктивно закладено велике осьове перекриття робочих органів при заповненні обсягу бункера трохи більше семи на 60%. Це разом з обтічною формою лопаток забезпечує інтенсивну дифузію матеріалів, що змішуються при досить невеликій кінцевій енергоємності процесу.

Голландська компанія Wynveen International має повну номенклатуру змішувачів різних видів виконання: одне та двовальні лопатеві, стрічкові змішувачі, у тому числі для введення меляси та жирів. Двухвалі змішувачі - це порційні агрегати інтенсивного перемішування (рисунок 1.8), які переважно використовуються на змішуванні сипких інгредієнтів, при цьому дозволяючи вводити в корм обмежений відсоток (до 8%) рідких добавок [1].



Рисунок 1.8 - Робочі органи змішувача двовального CR 1 Wynveen International

Змішувач оснащується робочими органами у вигляді валів із чотирма або більше лопатями. Принципово сумішоутворення відбувається за рахунок протилежного напрямку переміщення сировини внутрішньо і зовні радіально розташованими лопатями. Для забезпечення безперервного спорожнення конструкція бункера включає подвійні донні відкидні заслінки по всій довжині змішувача, що значно скорочує час його вивантаження.

Одновальні змішувачі Wynveen International (рисунок 1.9) використовуються переважно для змішування компонентів з хорошими характеристиками плинності. Однорідність суміші, що досягається, за даними виробника, становить 96 %, час змішування не перевищує 2 хв. Стрічкові

змішувачі (рисунок 1.10), також як і в інших виробників, дозволяють обмежено водити тваринний жир, олії або розчини препарату



Рисунок 1.9 - Одновальний змішувач Wynveen International (Голландія) та його змішуючий вал

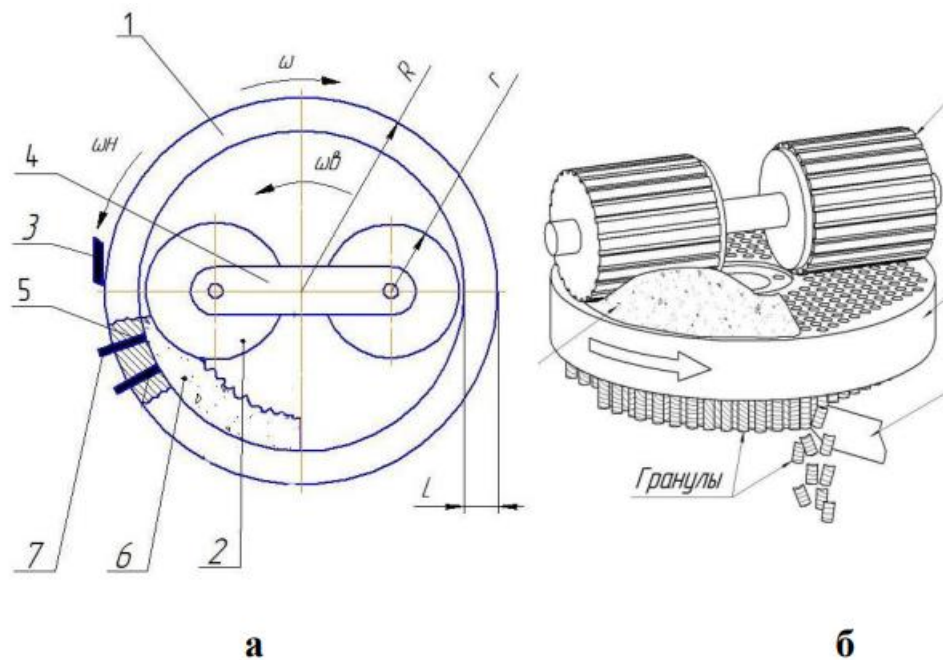


Рисунок 1.10 - Стрічковий змішувач Wynveen International (Голландія) та його змішуючий вал.

Відомі змішувальні агрегати характеризуються досить інтенсивним процесом, що змішує, завдяки якому забезпечується необхідна однорідність при змішуванні продуктів близьких за щільністю. Однак при введенні в комбікорм легких компонентів (висушене трав'яне різання, пивна дробина, статеві) спостерігаються ефекти сегрегації. Також через досить низьку швидкість обертання робочих органів при введенні густих і в'язких добавок (фуз, меляса, барда) відзначаються труднощі з очищенням робочих органів та утворення великих конгломератів.

Перспективним напрямом при внутрішньогосподарському комбікормовому виробництві є перехід на виробництво гранульованих та брикетованих кормів [7]. У гранульованому комбікормі всі частинки однакові і містять однакову кількість різних компонентів, відповідно кожна тварина

отримає рівну кількість всіх необхідних компонентів, що виключає дисбаланс у харчуванні тварин [8]. Гранулювання комбікорму передбачає його термообробку та практично анаеробну консервацію, що зменшує ймовірність розвитку в ньому хвороботворних бактерій та мікроорганізмів, знижується ризик виникнення захворювань тварин. Зниження об'єму корму полегшує його зберігання та транспортування. Машина, призначена для пресування розсипного комбікорму в гранули, має загальну назву – прес-гранулятор (гранулятор).



1 – матриця; 2 – ролик; 3 – ніж; 4 – водило; 5 – фільтера; 6 – продукт;  
7 – гранули

Рисунок 1.11 – Схема робочого органу прес-гранулятора з кільцевою матрицею а та плоскою б

Робочим органом прес-гранулятора є матриця, що є перфорованим радіальними фільтерами кільце (рисунок 1.11а) або диск з фільтерами паралельними його осі (рисунок 1.11б). Необхідний для пресування продукту тиск створюється при взаємодії матриці і роликів, що пресують, перекочуються по її поверхні [95,142].

Найменшого поширення набули прес-гранулятори з пресуючим шнеком замість роликів. Такі машини більш застосовні для вологого пресування або брикетування, так як міцність гранул при цьому способі подачі сировини нижча.

Найбільш відоме обладнання приготування кормових гранул на базі агрегатів АВМ-0,65 та СБ-1,5, гранулятори ОГМ-0,8, ОГМ-1,5 та преси типу ДГ, що випускаються заводами України. Широка номенклатура грануляторів випускається компаніями АЛБ Груп, Доза Агро, НМК-агро, ГрантАгро, Артмаш та ін

Для внутрішньогосподарського комбікормового виробництва за кордоном і в даний час все ширше в Україні знаходять застосування багатоопераційні агрегати для приготування збалансованих кормових сумішей.

В ході вивчення практичного досвіду їх експлуатації було встановлено, що більшість вітчизняних агрегатів призначена для роботи на невеликих фермах як повністю самостійний модуль, і не пристосована для роботи у складі повноцінного підприємства з виробництва повнораційних комбікормів. Вони мають об'ємне дозування компонентів, низьку, не більше 85-90%, однорідність змішування і високу питому енерго- та матеріаломісткість, відповідно, в межах 9-14 кВт·год і 0,5-1,2 кг на 1 т комбікорму. Досвід експлуатації зарубіжних агрегатів показав, що вони погано пристосовані до умов вітчизняного виробництва.

У зв'язку з цим був розроблений ефективний автоматизований агрегат АКА-3.322 для подрібнення, дозування та змішування компонентів комбікорму (рисунок 1.12), що передбачає можливість роботи як самостійного технологічного блоку, так і у складі комбікормового підприємства.





1 – вертикальна змішувальна камера; 2 – проміжна тензометрична рама; 3 – шнек-живильник; 4 – основна рама; 5 – молоткова дробарка

Рисунок 1.12 – Автоматизований комбікормовий агрегат АКА-3.322

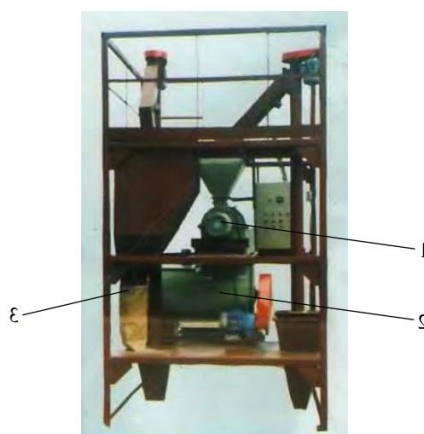
Агрегат призначений для подрібнення, вагового дозування та змішування компонентів в автоматичному режимі роботи. Може використовуватися як самостійна установка у господарстві, і у складі технологічних ліній з виробництва комбікормів. Агрегат складається з двох молоткових дробарок, двошнекового вертикального змішувача, шнека-живильника, бункера для мікрокомпонентів, тензометричної системи та системи автоматичного керування. Контроль та управління технологічним процесом здійснюється за допомогою мікропроцесора.

Для приготування повнораціонних розсипних комбікормів за умов господарств було створено типорозмірний ряд блочно-модульних комбікормових агрегатів УЗ-ДКА (рисунок 1.13).

Агрегат УЗ-ДКА включає три основні модулі: подрібнення, дозування та змішування, відпустки готової продукції. Він може бути укомплектований

додатковими модулями: прийому та очищення сировини, луцення зернових культур, введення рідких компонентів, приготування БМВК.

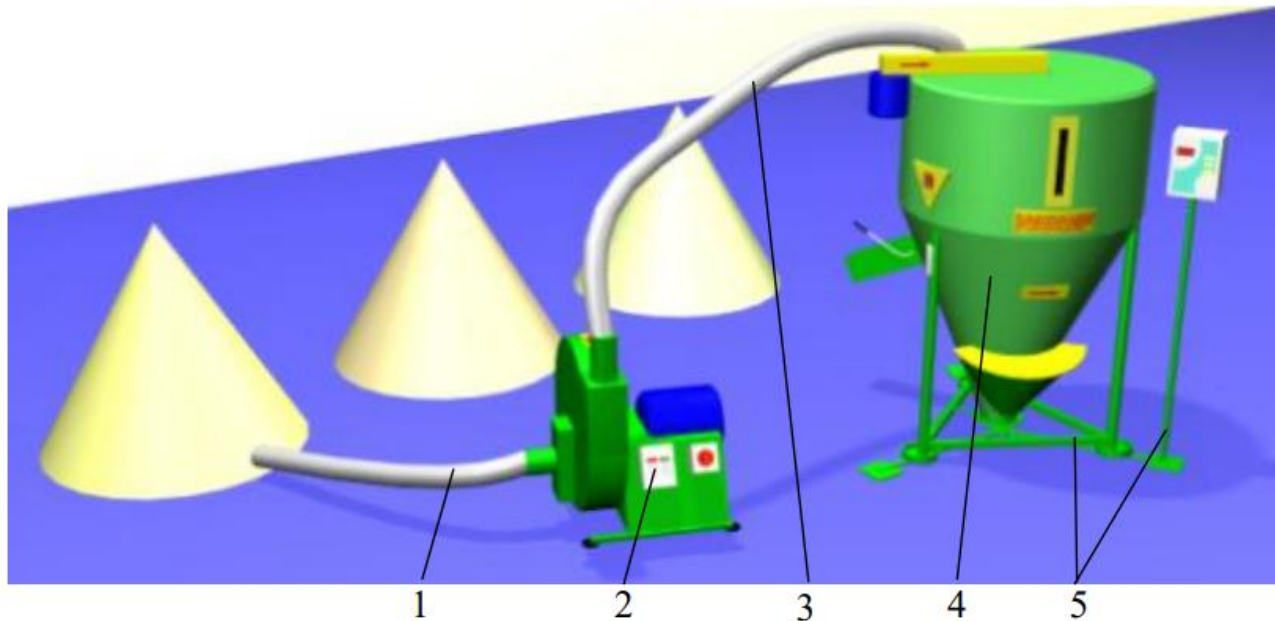
Відмінними рисами агрегатів є використання похилих шнекових живильників замість горизонтальних, що дозволяє при вертикальній побудові схеми технологічного процесу розміщувати агрегати в одноповерхових будинках, а також використання двовальних горизонтальних лопатевих змішувачів УЗ-ДСП з можливістю їх встановлення на тензодатчиках.



1 – модуль подрібнення, 2 – модуль дозування та змішування, 3 – модуль відпустки готової продукції

Рисунок 1.13 – Блочно-модульний комбікормовий агрегат УЗ-ДКА-1

Також набули поширення малогабаритні стаціонарні комбікормові установки продуктивністю до 3,5 т/год, що випускаються різними виробниками (рисунок 1.14).



1 – всмоктувальний патрубок; 2 – молоткова дробарка з вентилятором; 3 – нагнітальний патрубок; 4 – вертикальний змішувач; 5 – тензометрична рама (дозуючий пристрій)

Рисунок 1.14 – Стационарна комбікормова установка

Машини у таких установках жорстко не з'єднані між собою. Комбікормові установки найчастіше включають лише дві машини – молоткову дробарку та вертикальний змішувач, що з'єднуються транспортним обладнанням [9]. Молоткова дробарка оснащується відцентровим вентилятором і всмоктувальним та нагнітальним патрубками для забору зернової сировини та транспортування подрібненої сировини до змішувача. Установки призначені для приготування обмеженого числа рецептів комбікорму з зернової сировини, що є в сільгосп підприємстві, і готових покупних БВМК та преміксів за прямою технологічною схемою з послідовним почерговим подрібненням та завантаженням компонентів у змішувач. Дозування сировини здійснюється при завантаженні в змішувач, встановлений на тензометричній рамі.

Попередня обробка фуражного зерна на складі дозволяє не включати до складу стаціонарної комбікормової установки обладнання для очищення зерна, а застосування пневмозабору дозволяє уникнути використання для транспортування норій і шнекових транспортерів.

Також як приклад стаціонарної установки розглянемо агрегат комбікормовий АК-3 (рисунок 1.14).



1 - дробарка молоткова з пневмозабором ДМП-4; 2 – змішувач-накопичувач вертикальний шнековий СВШ-3Ш

Рисунок 1.14 – Агрегат комбікормовий АК-3 «Агрогрант»

До складу агрегату АК-3 входять дробарка молоткова з пневмозабором ДМП-4 та змішувач-накопичувач вертикальний шнековий СВШ-3Ш із встановленою системою аспірації. Дозування сировини здійснюється при завантаженні в змішувач за допомогою вагового пристрою дозування ЕВДУ. БВМК та премікс завантажуються в змішувач вручну через бічний кишеню.

Недоліки такого обладнання типові - низька якість змішування вертикальним змішувачем, утруднене введення реологічно неоднорідних компонентів, досить висока енергоємність процесів за рахунок пневмотранспортування.

Ще один тип машин, що набули поширення в США і Європі.

Мобільний комбікормовий агрегат (установка) - це комплект технологічного обладнання (молоткова дробарка, змішувач та допоміжне

обладнання), яке встановлюється на самохідному транспортному засобі або на причепі до нього і може використовуватися як у стаціонарному варіанті в місцях зберігання зерна або годівлі тварин, так і пересувному варіанті безпосередньо у сільгоспідприємствах для приготування комбікормів з використанням покупних БВМК та преміксів та місцевої зернової сировини [1]. Технологія виробництва комбікормів передбачає використання рецептів з урахуванням максимального застосування наявних сировинних ресурсів на місцях.

Пристрій та технологічний процес причіпних комбікормових агрегатів практично не відрізняються від стаціонарних. Агрегати включають обладнання для завантаження сировини, її подрібнення, вагового дозування, змішування компонентів та вивантаження комбікорму.

Причіпні комбікормові агрегати переважно розміщуються на одновісному причіпному шасі, агрегуються з трактором (рисунок 1.15) та наводяться в дію від його валу відбору потужності (ВОМ) [3].

У більшості причіпних агрегатів завантаження сировини та вивантаження готового комбікорму виконуються механічними транспортерами, у деяких для цього застосовується пневмотранспорт, що підвищує зручність роботи.



Рисунок 1.15 – Мобільний причіпний комбікормовий агрегат Riela GMA-3500, що агрегатується з трактором

Мобільні агрегати, як і стаціонарні, можуть встановлюватись та працювати безпосередньо на зерновому складі (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Розміщення мобільного комбікормового агрегату (Riela GMA-3500) на зерновому складі сільгосп підприємства

Цікава схема установки Riela GMA-3500 (рисунок 1.17)



1 – карданний вал; 2 – ємність для рідкої сировини; 3 – молоткова дробарка; 4 – вертикальний змішувач; 5 – шасі

Рисунок 1.17 – Мобільний причіпний агрегат Riela GMA-3500

Технологічний процес причіпного мобільного комбікормового агрегату здійснюється у такому порядку. Перед початком роботи трактор доставляє

мобільний агрегат на місце складування зерна. Трактористоператор прокладає до буртів із сировиною пневмопровід. Зерно з буртів через сепаратор завантажувального пневмопроводу за допомогою потоку розрідженого повітря, що створюється компресором, подається в молоткову дробарку, де подрібнюється. Після цього за допомогою шнека завантаження подрібнене зерно подається в бункер змішувача. БВМК та премікс завантажують у приймальний бункер добавок вручну. Дозування компонентів здійснюється пристроєм послідовного набору доз з виведенням інформації на індикатор пульта управління. Після повного завантаження всіх компонентів включається режим змішування і через 5-8 хв. приготування комбікорму завершується. Після цього комбікорм вивантажується із змішувача за допомогою пневмопроводу до місця його складування або бункера систем роздачі кормів.

Комбікормовий агрегат «ВНДКП» відрізняється від представлених вище причіпних установок. Він розміщується на автомобільному причепі, але використовує електропривод, що живиться від стаціонарної мережі або дизельним генератором, що входить до складу установки.

До складу мобільної причіпної комбікормової установки «ВНДКП» входить (рисунок 1.18): молоткова дробарка з пневматичним завантаженням та вивантаженням сировини, горизонтальний лопатевий змішувач ДСП-0,2 на тензодатчиках, надзмішувальний бункер, завантажувальний лоток для введення БВМК, завантажувальний пневмопровід для зернових компонентів, циклон, насос для подачі рідких компонентів у змішувач, вивантажувальний шнек, тензометричний ваговий пристрій, аспіраційне обладнання, автоматизована система управління технологічним процесом.

Обслуговують мобільну комбікормову установку «ВНДКП» один – два працівники.



Рисунок 1.18 – Мобільна установка «ВНДІКП» (загальний вигляд).

У самохідних мобільних комбікормових агрегатах обладнання встановлюють на шасі вантажного автомобіля з приводом від автономного дизельного або від ВОМ автомобіля (рисунок 1.19). Продуктивність таких агрегатів становить від 10 до 20 т/год. Самохідні агрегати випускають фірми "Buschhoff", "Awila" (Німеччина), "Tropper" (Австрія) [6].

Зазвичай у самохідних агрегатах використовується пневматична транспортна система для завантаження сировини та вивантаження готового комбікорму. Вивантаження готового комбікорму може здійснюватися за допомогою поворотного шнека.

Технічні характеристики деяких самохідних мобільних комбікормових агрегатів наведено у таблиці 1.4



Рисунок 1.19 – Мобільний самохідний комбікормовий агрегат на шасі вантажного автомобіля



Технологічний процес самохідного мобільного комбікормового агрегату здійснюється однаково. Оператор подає пневмукав транспортної системи до місця зберігання зерна та запускає двигун приводу комбікормового агрегату. Зерно завантажувальним пневмопроводом з вмонтованим сепаратором транспортується в молоткову дробарку. Подрібнене або плющене зерно подається до бункер-змішувача, встановленого на тензодатчиках для вагового дозування. Премікс та БВМК завантажують у змішувач окремо через спеціальний бункер, також вводять рідку сировину з особливої ємності. Після повного завантаження всіх компонентів відбувається змішування сировини протягом 4-6 хв. Потім комбікорм за допомогою пневмосистеми або поворотного шнека вивантажується з змішувача. Час вивантаження становить від 7 до 12 хв.

Для невеликих сільгосп підприємств, у яких запас фуражу зберігається на кількох складах або мають кілька територіально розосереджених ферм або літніх таборів, раціональним варіантом є використання агрегатованого з трактором мобільного комбікормового агрегату на власному шасі, здатного не тільки виробляти комбікорм, але й перевозити його до місця або безпосередньо роздавати його тваринам. Перевага такого агрегату в тому, що транспортний засіб (трактор) після завершення цих операцій може бути використаний у господарстві для інших цілей. Недоліком таких систем є висока вартість імпортного обладнання, складності у налаштуванні та технічному обслуговуванні.

## **2. ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ**

### **2.1. Аналіз потреб сільгосп підприємств у повнораційних кормах та вимоги до їх складу та якості**

Останніми роками, у зв'язку з скороченням кількості комбікормових заводів і, відповідно, пропозиції готових кормів над ринком, у тваринницьких господарствах змушено приходять до організації внутрішньогосподарського виробництва комбікормів. Тенденція переходу виробництва до внутрішньогосподарського викликана тим, що необхідність закупівлі зерна за ринковими цінами робить комбікорм, що випускається заводом, неконкурентоспроможним на ринку. У той же час, сільгоспвиробники замість продовольчого зерна монокультури озимої пшениці можуть свідомо вирощувати більше фуражного зерна та бобових культур, переробляючи цю сировину в корм і покращуючи родючість ґрунтів шляхом використання сівозмін, що щадять. За умови використання передових технологічних рішень можуть виробляти продукцію з більшою доданою вартістю, диверсифікуючи джерела отримання доходу. В результаті можливо досягти значного підвищення виробництва вовни, молока, м'яса та продукції аквакультури.

Державні заходи підтримки тваринництва дозволили досягти певних успіхів у формуванні стійкої конкурентоспроможної кормової бази у свинарстві та птахівництві. Однак, у нашій країні нині далеко не всі тваринницькі ферми та птахофабрики повною мірою забезпечені якісними повнораційними комбікормами та БВМД (білково-вітамінно-мінеральними добавками). Особливо це очевидно стосовно сільгосп підприємств, що мають невеликі тваринницькі ферми з виробництва свинини, яловичини та молока. Фермеські ж господарства часто не мають навіть простих комбікормових установок, згодовуючи тваринам лише подрібнене фуражне зерно. Тому важливим

аспектом підвищення якості комбікормів без значного зростання собівартості є включення до їх складу БВМК, преміксів, відходів харчової та переробної промисловості. Для внутрішньогосподарського виробництва комбікормів використання преміксів промислового виробництва перших етапах розвитку цілком прийнятним, проте є цілком доступні технічні рішення в організацію ефективного виробництва преміксів на внутрішньогосподарському підприємстві.

До теперішнього часу частину комбікормів виробляють на застарілому технологічно обладнанні, а кормові добавки виробляють на імпортному устаткуванні за не повністю адаптованими до наявної сировини технологіями, що в кінцевому підсумку відбивається у високій собівартості вироблених кормів та їх низькій якості.

Незважаючи на поступове поліпшення ситуації якісні показники комбікормів, що виробляються часто нижче вироблених в інших розвинених країнах світу, а значна частка в них фуражного зерна визначає їх відносно високу собівартість. Комбікорма для свиней лише 58% можна віднести до повнораціонним, та якщо з комбікормів для ВРХ – лише 42%, що замало забезпечення повноцінного харчування тварин [13].

Зі зростанням продуктивності молочного стада щонайменше ДСТУро стоїть питання забезпечення його якісним комбікормом. Вимоги до його складу посилюються, і він гарантовано має бути повнораційним. Без балансування раціонів концентратами неможливо забезпечити потребу корів і особливо телят у протеїні, вітамінах та мікроелементах і, відповідно, реалізувати їхню генетичну молочну продуктивність.

Комплекс вирішення зазначених проблем тваринницької галузі визначив розвиток альтернативної конкурентоспроможної системи виробництва повнораційних комбікормів безпосередньо в умовах господарств на основі малих модульних підприємств стаціонарного та мобільного виконань.

В результаті огляду перспективних зарубіжних тваринницьких виробництв та аналітичних прогнозів встановлено, що внутрішньогосподарський малий

комбікормовий завод повинен забезпечувати виробництво розсипних або гранульованих комбікормів для птиці, риби, свиней та великої рогатої худоби за різними рецептами. Комбікорми повинні включати всі види сировини, що необхідні для харчування тварин, тобто. повинні бути повораційними, і не поступатися якістю кормів, вироблених промисловим способом, але водночас гарантовано мати нижчу собівартість.

Продуктивність типового малого внутрішньогосподарського комбікормового заводу має становити від 0,4 до 2 т/год (3-16 т за зміну). Для виробництва комбікорму повинне використовуватися не менше 6 основних компонентів (зернові – пшениця, ячмінь, кукурудза, сорго, овес, горох чи соя, а також соняшниковий чи соєвий шрот). Також до складу корму може включатися не менше 9 видів добавок: мінеральні компоненти (крейда, фосфати, вапняк, сіль), борошністі компоненти (висівки) та білкова сировина рослинного та тваринного походження (рибне або трав'яне борошно, дріжджі кормові, сухе молоко). Окремо можуть вводитись мікрокомпоненти (до 10 компонентів) у складі преміксу: вітаміни, солі мікроелементів, ліки та ферменти.

Малий завод повинен, на думку споживачів, забезпечувати можливість приготування комбікормів за власними рецептами сільгоспідприємства, які враховують наявність місцевих специфічних видів сировини та індивідуальні потреби різних груп тварин протягом усього виробничого циклу.

Проведений аналіз показав, що сільгоспідприємства у надлишку забезпечені основним компонентом комбікормів – фуражним зерном пшениці, ячменю, кукурудзи, сорго та інших зернових культур. Також господарства можуть купувати на місцевих маслозаводах у надлишку побічний продукт, що утворюється - соняшниковий і ріпаковий шрот, замінюючи їм більш дорогий соєвий шрот.

Відомо, що найважливішими компонентами, що перетворюють кормосуміш на комбікорм, є мікродобавки, що збагачують, стабілізують і лікарські (вітаміни, солі мікроелементів, сорбенти, ферменти, лікарські препарати та ін.). Включення їх до складу комбікорму є обов'язковим та досить

складним технологічним процесом. Традиційно раціональним вважається приготування попередньої суміші цих мікро інгредієнтів з наповнювачем, що потім включається до складу комбікорм при подальшому поступовому домішуванні. При цьому виробництво балансуєчих добавок (преміксів) може бути організоване в умовах внутрішньогосподарського підприємства з набору мікроелементів та наповнювача на основі сировини з низькою об'ємною вагою, наприклад, борошна або висівок [6, 17].

Використання рідких компонентів (фуз, олія, меляса) для включення до складу комбікормів зазвичай не передбачається для внутрішньогосподарських підприємств через складність його організації. Однак, наприклад у ставковому рибництві, обладнання для підготовки та введення рідкої сировини в змішувач може бути незамінним у складі ефективного малого комбікормового заводу.

Актуальним для сільгоспдприємств є вирішення завдання зниження використання у складі комбікормів фуражного зерна замінивши його нетрадиційними кормовими компонентами. Найбільш переважно залучення в кормовий оборот відходів переробки сільгосппродукції, наприклад, жому, кісточки, пивної дробини. Економить фураж застосування інноваційних технологій підвищення його поживної цінності за рахунок інтенсивної термобарометричної обробки, такої як екструдкування, експандування, мікронізація, плющення та ін [18].

Для найбільш важливого балансування корму по протеїну, що перетравлюється, до складу комбікормів необхідно включати синтезовані незамінні амінокислоти, або комплекси дорогих білкових компонентів, такі як трав'яне і рибне борошно, соняшниковий і соєвий шрот. Їх виробництво чи придбання збільшує собівартість комбікормів, що є додатковим стимулом до пошуку альтернативних білкових замінників, або технологій їх переробки. Одним з таких напрямків є ширше використання вегетативної рослинної маси, в т.ч. бобових та ефіроолійних культур. Також сюди можна включити використання продуктів та технічної ентомології. Це дозволить також заповнити значний дефіцит багатьох груп вітамінів у раціонах тварин, що є досить

ДСТУрою проблемою для птахівництва та свинарства в осінньо-весняний період.

Ключовою вимогою виробництва є підвищення засвоюваності комбікорму, особливо зернової сировини, що важко перетравлюється. Проблема вирішується застосуванням технології його переробки операцій інтенсивної термобарометрической обробки, дозволяють підвищити засвоюваність з допомогою перетворення набивного крохмалю в легкозасвоювану форму [18].

Ще одним моментом, що перешкоджає ефективному використанню виробленого на внутрішньогосподарських заводах комбікормів, є їхнє можливе зараження грибковою мікрофлорою та продуктами їх життєдіяльності – мікотоксинами, які пригнічують організм сільськогосподарських тварин, знижуючи продуктивність [16, 19]. Тому вимоги екологічної безпеки полягають у включенні до технологічних схем внутрішньогосподарського виробництва комбікормів операцій знезараження їх найбільш схильних до зараження компонентів – фуражного зерна та білкових добавок, при цьому їх обробка повинна здійснюватися способами, які згодом не загрожують здоров'ю тварин [18, 22]. Отже, забезпечення біологічної безпеки комбікормів, що виробляються на внутрішньогосподарських заводах, є актуальною вимогою.

Найважливішою вимогою сільгоспвиробництва буде також забезпечення гранулювання та брикетування корму при його внутрішньогосподарському виробництві. Це не тільки дозволить виконати вимоги споживачів щодо забезпечення збереження комбікормів при їх зберіганні та транспортуванні, а й підвищить технологічність його згодовування тваринам. Наприклад, у птахівництві провідні підприємства вже давно відмовилися від годівлі розсипним комбікормом.

Додавання такого з нових вимог сільгоспвиробників, як можливість виробництва на підприємствах комбікормів за індивідуальними рецептами та з можливістю їхнього динамічного коригування, а також з можливістю використання специфічних місцевих видів сировини робить структуру

технологічних потоків досить гнучкими. Комплекси обладнання, що реалізують дані технології, повинні бути досить універсальними.

Безсумнівно, якість повнораційного комбікорму, що виробляється, повинна відповідати вимогам діючих ДСТУ і затверджених технічних регламентів (ТР). При цьому контроль якісних показників та безпеки комбікорму має проводитися на всіх етапах технологічного процесу, починаючи з приймання сировини та закінчуючи відвантаженням готового корму та видачею його тваринам.

Таким чином, вимоги сільгоспвиробників на сучасному етапі зводяться до того, що комбікорми, що виробляються на малих внутрішньогосподарських підприємствах, повинні не поступатися за складом, поживною цінністю, якістю і безпекою кормам, що випускаються на великих комбікормових заводах.

## **2.2 Обґрунтування мобільних автономних технологічних модулів. Область їх застосування та робочі цикли**

Компактний завод із приготування комбікормів залежно та умовами господарювання може бути у стаціонарному, а й у мобільному виконанні, оскільки модуль як контейнера, встановлений на шасі автомобіля чи напівпричепі, цілком може виконувати свої функції не розвантажуючись, тобто. використовуватися як мобільний комбікормовий завод – «з коліс». Привід обладнання заводу або електричний, тоді двигун енергозасобу обертає генератор або можливі варіанти з приводом обладнання безпосередньо від двигуна вантажівки або власного дизельного двигуна. Такі багатоцільові агрегати активно розробляється в останні роки в США та ЄС [9]. Однак автомобільний варіант явно не представляється раціональним в умовах, так як дороге енергозасіб фактично буде недовантажено, досить мало використовуватися за прямим призначенням і не забезпечить необхідної мобільності на дорозі в осінньо-весняний період. Слід зазначити, що ці агрегати високопродуктивні, до 15-20 т/год, чим значно перевищують потреби більшості господарств південної

зони, тому нераціонально їх використання у межах одного сільгосп підприємства. Застосування стаціонарного модуля, що приводиться в дію електродвигуном від розподільчої мережі, буде очевидно ефективніше. Можливе встановлення стаціонарного автономного модуля в безпосередній близькості від складу для зберігання фуражного зерна дозволить заощадити на транспортних витратах. За потреби такий модуль можна досить швидко відключити від мережі та перемістити на транспорті на інше місце роботи, де він може знову експлуатуватися.

Для господарств, переважно скотарського напрямку, в яких корми зберігаються на кількох складах та (або) мають кілька територіально розосереджених тваринницьких об'єктів (ферм, літніх таборів, кошар), більш прийнятним варіантом стане придбання причіпного мобільного комбікормового агрегату (автономного модуля) на власному шасі. Такий агрегат є більш універсальним, дозволяючи не лише виробляти безпосередньо корм, а й переміщати його до місця годування та видавати тваринам. Основна перевага причіпного агрегату в тому, що енергозасіб (трактор) після завершення робіт на годівлі тварин може використовуватись для інших цілей.

Самохідні автономні комбікормові заводи, встановлені на шасі автомобіля з приводом від двигуна автомобіля через ВОМ або від автономного двигуна раціонально використовувати в сільськогосподарському підприємстві, що включає групу виробництв, у тому числі й різного профілю (маткове, ремонтне, поголів'я відгодівлі), що в останні роки отримує все поширення у великих холдингах. Такий мобільний автономний модуль може за певним графіком об'їжджати господарства і, маючи деякий запас преміксів і БМВК, виробляти з фуражного зерна, що зберігається в них, та іншої сировини комбікорм з розрахунку забезпечення 3-5 денної потреби ферми в ньому.

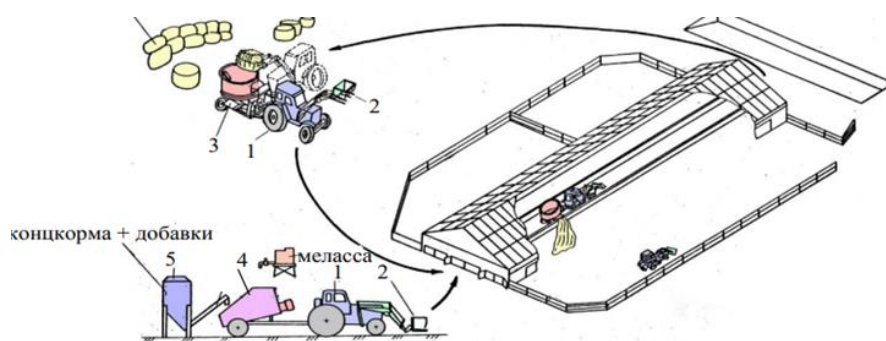
Однак, доцільність придбання мобільного агрегату має бути економічно обґрунтовано, оскільки при його роботі з'являється додаткова стаття накладних витрат – на ПММ, технічне обслуговування та ремонт трактора та шасі агрегату. Недоліками мобільних кормоцехів також є неможливість технологічної зміни та



розширення, включення додаткових операцій у технологічний процес та збільшення продуктивності. Механізатор також повинен виконувати обов'язки оператора установки та мати необхідну кваліфікацію.

Досвід показав, що технологія годівлі великої рогатої худоби повноцінними кормосумішами, приготованими в змішувачах-роздавачах кормів типу АКМ-9 або ІСКР-12 найбільш ефективна в добре оснащених, економічно стійких господарствах, що освоїли виробництво кормів з високопродуктивних кормових культур, таких як кукурудза, цукрове сорго та його гібриди, кормові коренеклубнеплоди, соя, яких відрізняє висока енергоємність та вимогливість до парку техніки, що використовується. Трав'яна та зернотрав'яна системи кормовиробництва, що базуються на заготівлі сіна та сінажу в рулонах у плівковій упаковці, що обумовлює застосування малокомпонентного сіно-сінажно-концентратного типу годівлі тварин [19].

Тут на фермі сінаж та сіно подрібнюється і лунає по годівницях причіпним подрібнювачем-роздавачем з вертикальним або похилим бункером (рисунок 2.1). Зернові корми подрібнюються, змішуються з преміксами, мелясою та іншими балансуєчими добавками і лунають агрегатом комбікормовим мобільним, що агрегується з тракторами класу 0,9-1,4ТС



1 – трактор МТЗ-82; 2 – фронтальний навантажувач типу ПКУ-0,8; 3 – подрібнювач-роздавальник пресованих стеблинних кормів; 4 – змішувач-роздавач концентрованих кормів; 5 – бункер концентрованих кормів з дозуючим шнеком

Рисунок 2.1 – Технологічна схема виконання робіт на фермах ВРХ з малокомпонентним сінажно-концентратним типом годівлі

При реалізації даної технології виявлено необхідність розробки недорогого вітчизняного агрегату для змішування і роздачі концентрованих кормів, меляси, преміксів та інших балансуєчих добавок на тваринницьких фермах. Виходячи з аналітичного огляду раціональної конструкції визнана конструктивно-технологічна схема агрегату кормового мобільного, що представляє собою одношнековий змішувач з похилим бункером, встановленому на одновісному шасі [15].

Перевагою даної схеми є компактність машини, нижча енергоємність у порівнянні зі змішувачами з горизонтальними валами за рахунок транспортування маси шнеком в один бік і гравітаційного обсіпання, надійність і висока ремонтпридатність одношнекового приводу, регульована висота вивантаження суміші. До недоліків схеми можна віднести нижчу інтенсивність перемішування порівняно з багатошнековими змішувачами, а також можливу сегрегацію компонентів суміші при обсіпанні гравітаційним.

З метою розширення функціональних можливостей розроблена модифікація агрегату, здатна не тільки використовуватися як змішувач-роздавач кормів, а й подрібнювати зернові корми та інші сипучі добавки, тобто застосовуватися як мобільний комбікормовий агрегат на місці зберігання зерна в колективних господарствах та в кооперативних підприємствах фермерських та особистих підсобів господарств.

Головними функціями мобільного комбікормового агрегату є:

- пневмозавантаження та подрібнення зернових кормів усіх видів;
- ваговий контроль завантажуваних та видаваних кормових матеріалів;
- змішування подрібненої сировини з преміксами та іншими балансуєчими добавками;
- транспортування та видача отриманого комбікорму тваринам або на склад; Крім основних функцій агрегат повинен виконувати і ряд допоміжних:
  - завантаження БМВС, преміксів та інших добавок, що балансують;
  - привід загрузочно-подрібнювальних, змішувальних та вивантажувальних пристроїв;

- блокування попадання пилу в навколишній простір.

Додаткові головні функції – завантаження та подрібнення зернових кормів виконуються дробаркою з горизонтальною віссю обертання ротора з регульованою всмоктувально-нагнітальною системою та гнучкими трубопроводами за принципом аналогічних вузлів стаціонарних комбікормових установок типу КУ-2. Маючи загальну більш високу енергоємність процесів, дробарки з всмоктувально-нагнітальними системами мають і суттєві переваги при застосуванні їх на мобільних комбікормових агрегатах: вони не набагато складніші за конструкцією (ротор до оснащений лопатями відцентрового вентилятора), мають досить невисоку вартість, прості в експлуатації переносить всмоктувальне сопло від бурта одного виду зерна до бурта іншого, здійснюючи контроль маси компонента, що завантажується по електронному табло).

У разі потреби допоміжні функції можуть виконуватися окремим обладнанням. Деякі види концкормів вже в подрібненому вигляді вони можуть завантажуватися в змішувач окремим шнековим транспортером з бункерів, рідкі корми - насосом з ємності через розпилювач. Так як потужність на привід шнека змішувача не перевищує 10 кВт, його доцільно здійснити за допомогою гідромотора від гідросистеми трактора, а привід дробарки з частотою обертання ротора - 2800-3100 хв-1 - від ВОМ, встановивши обгінну муфту. З метою виключення пилу кормів при нагнітанні кормоповітряної суміші дробаркою в бункер, його слід закрити брезентом, що не промокається, і фільтром з млинового полотна (рисунок 2.2).

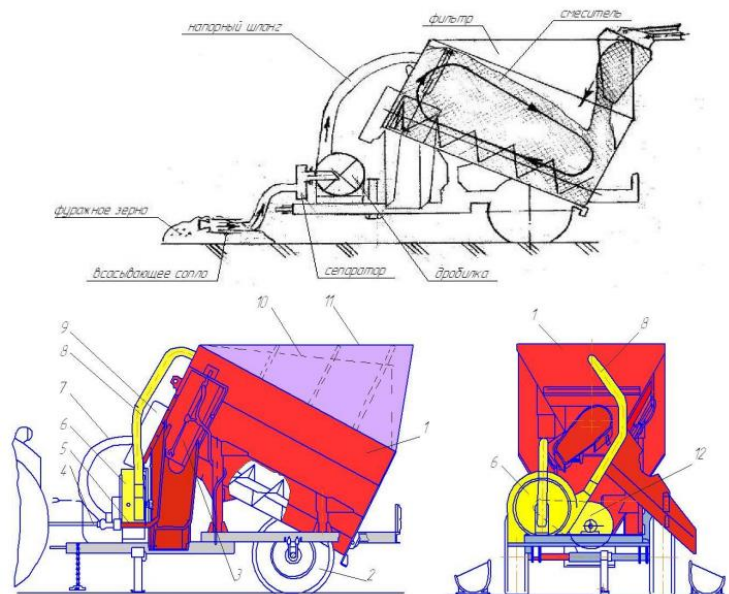
При розробці була виявлена необхідність вивчення впливу продуктивності дробарки на продуктивність комбікормового агрегату за весь цикл робіт та ін.

Спочатку прийняли наступні припущення.

1. Кормова суміш готується як мінімум з 4-5 компонентів: ячмінь, пшениця, кукурудза, сорго, БМВС.
2. Продуктивність дробарки при подрібненні будь-якого компонента не змінюється.

3. Усі компоненти перебувають у зоні доступності оператора, тобто. переїзд агрегату до завершення завантаження бункера відсутня.

4. Швидкість руху трактора стала



1 – змішувач; 2 – ходова частина; 3 – вивантажувальний пристрій; 4 - ВОМ; 5 – контрпривід; 6 – дробарка зерна; 7 – всмоктуючий трубопровід; 8 - нагнітальний трубопровід; 9 – привід змішувача; 10 – фільтр; 11 – водозахисний чохол; 12 – клинопасова передача

Рисунок 2.2 – Агрегат комбікормовий мобільний (вид та схема роботи)

Робота оператора складається з операцій, що послідовно виконуються: переведення рукава з транспортного положення в робоче; завантаження з подрібненням першого компонента, перенесення всмоктуючого сопла до іншого компонента; завантаження з подрібненням іншого компонента; переведення всмоктуючого шланга в транспортне положення, завантаження рідких кормів за наявності, змішування проводиться як при завантаженні так і під час переїзду від сховищ до місця видачі корму, видача кормосуміші тварин і рух агрегату назад до місця завантаження. Зі схеми роботи агрегату випливає, що технологічний час роботи буде

$$T = kt_{\text{ц}} + t_{14}, \quad (2.1)$$

де  $k$ ,  $t_{\text{ц}}$  – відповідно кількість та тривалість циклів роботи агрегату, с;

$t_{14}$  - тривалість можливих порушень технологічного процесу, з

Тривалість  $t_{14}$  порушення технологічного процесу (відмови) є переважно величиною стохастичної і більшою мірою залежить від зовнішніх факторів і меншою – безпосередньо від агрегату. Тому при попередньому розгляді тривалістю часу на їхнє усунення не враховували.

Тоді тривалість всього циклу роботи агрегату

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13}, \quad (2.2)$$

де  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}$  - тривалість відповідно переведення рукава з транспортного положення до робочого; завантаження з подрібненням першого компонента, перенесення всмоктуючого сопла до іншого компонента; завантаження з подрібненням іншого компонента; переведення всмоктуючого шланга в транспортне положення, завантаження рідких кормів за їх наявності, а також переїзду від сховищ до місця видачі корму, видачі кормосуміші тварин і руху агрегату назад до місця завантаження.

За даними хронометражу тривалість допоміжних циклів роботи агрегату при  $t_1, t_3, t_5, t_7, t_9$  становить  $5 \div 10$  с; тоді

$$t_1 + t_3 + t_5 + t_7 + t_9 \approx 25 \div 50 \text{ с} \quad (2.3)$$

де  $K_1, K_2, K_3, K_n, K_m$  - маса кожного з компонентів, що завантажуються за 1 цикл роботи агрегату, кг;

$G$  – продуктивність дробарки, кг/с;

$G_m$  – інтенсивність подачі рідких добавок, кг/с;

$L$  - відстань між сховищем кормів та місцем їх видачі, м;

$v_{\text{тр}}$  - швидкість руху агрегату під час транспортування, м/с;

$v_r$  - швидкість агрегату під час видачі суміші, м/с;

$l$  – довжина фронту годівлі, м.

Остаточна кількість повних циклів роботи для видачі добового раціону:

$$k = \frac{K_{\text{сут}} n_{\text{ж}}}{K_{\text{ц}}} = \frac{n_{\text{ж}} K_{\text{сут}}}{V_{\text{б}} \gamma_{\text{см}} \psi_{\text{б}}}, \quad (2.5)$$

де  $K_{\text{сут}}$  - добова норма видачі кормів тварині за раціоном, кг;

$K_{\text{ц}}$  - маса, що готуються за один цикл роботи агрегату, кг;

$V_b$  - місткість бункера агрегату, м<sup>3</sup>;

$\gamma_{cm}$  - об'ємна маса корму, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi_b$  - коефіцієнт заповнення бункера;

$n_{ж}$  - поголів'я, що обслуговується, гол.

Підставивши значення складових вирази 2.1 і 2.2, отримаємо

$$T = \frac{n_{ж}K_{сут}}{V_b\gamma_{cm}\psi_b} (t_1 + t_3 + t_5 + t_7 + t_9 + \frac{K_1}{G} + \frac{K_2}{G} + \frac{K_3}{G} + \frac{K_{п}}{G} + \frac{K_M}{G_H} + \frac{L}{v_{тр}} + \frac{l}{v_p} + \frac{L}{v_{тр}}), \text{ с.} \quad (2.6)$$

Фактори  $K_1, K_2, K_3, K_{п}$  невіддільні між собою, тому можна замінити їх на загальну кількість кормів та добавок, що перевозяться за один цикл  $K_{ц}$ .

Тоді з урахуванням (2.3) вираз (2.6) набуде вигляду

$$T = \frac{n_{ж}K_{сут}}{V_b\gamma_{cm}\psi_b} [(25 \div 50) + \frac{K_{ц}}{G} + \frac{2L}{v_{тр}} + \frac{l}{v_p}], \text{ с.} \quad (2.7)$$

У свою чергу продуктивність агрегату

$$Q = \frac{3,6K_{сут}n_{ж}c}{\frac{n_{ж}K_{сут}}{V_b\gamma_{cm}\psi_b} [(25 \div 50) + \frac{K_{ц}}{G} + \frac{K_M}{G} + \frac{2L}{v_{тр}} + \frac{l}{v_p}]}, \text{ кг/с,} \quad (2.8)$$

Або

$$Q = \frac{3,6cV_b\gamma_{cm}\psi_b}{(25 \div 50) + \frac{K_{ц}}{G} + \frac{K_M}{G} + \frac{2L}{v_{тр}} + \frac{l}{v_p}}, \text{ кг/с.} \quad (2.9)$$

Визначимо загальну кількість корму, виданого за один цикл,

$$K_{ц} = \frac{K_{сут}n_{ж}}{k} = \frac{K_{сут}n_{ж}V_b\gamma_{cm}\psi_b}{K_{сут}n_{ж}} = V_b\gamma_{cm}\psi_b. \quad (2.10)$$

Підставивши значення  $K_{ц}$  із виразу (2.10), маємо

$$Q = \frac{3,6V_b\gamma_{cm}\psi_b c}{(25 \div 50) + \frac{V_b\gamma_{cm}\psi_b}{G} + \frac{K_M}{G} + \frac{2L}{v_{тр}} + \frac{l_1 n_{ж}}{v_p}}, \quad (2.11)$$

де  $l_1$  - фронт годівлі однієї тварини, м;

$c$  – коефіцієнт використання часу зміни

З виразу 2.11 видно, що продуктивність агрегату залежить від корисного обсягу бункера, тривалості всіх операцій, що виконуються оператором при завантаженні, тривалості окремого завантаження рідких інгредієнтів, транспортної та робочої швидкостей агрегату, відстані перевезення та фронту годування.

Хронометраж показав, що в загальному балансі технологічного часу роботи агрегату тривалість завантаження зернових кормів з подрібненням і становить близько 80-90%, час перенесення шланга 2-4%, тривалість транспортування корму з одночасним змішуванням - 3-5%, розподілу го по фронту годування тварин-5-10%. Тому при зміні маси або кількості компонентів, що вносяться в корм, заздалегідь передбачити необхідний додатковий час.

Як основний критерій аналізу доцільно прийняти продуктивність агрегату за 1 годину чистої роботи. Фактори фактично не змінюються для одного виду тварин можна встановити на одному рівні, наприклад,  $\sigma = 500 \text{ кг/м}^3$ ;  $l = 0,5 \text{ м}$ ;  $z = 0,8$ ;  $K_{\text{сут. для худоби}} = 5,5 \text{ кг}$ .

Мета полягала у вивченні впливу інших змінних чинників на продуктивність агрегату.

Розрахункова залежність продуктивності агрегату від продуктивності дробарки та місткості бункера представлені на рисунку 2.3

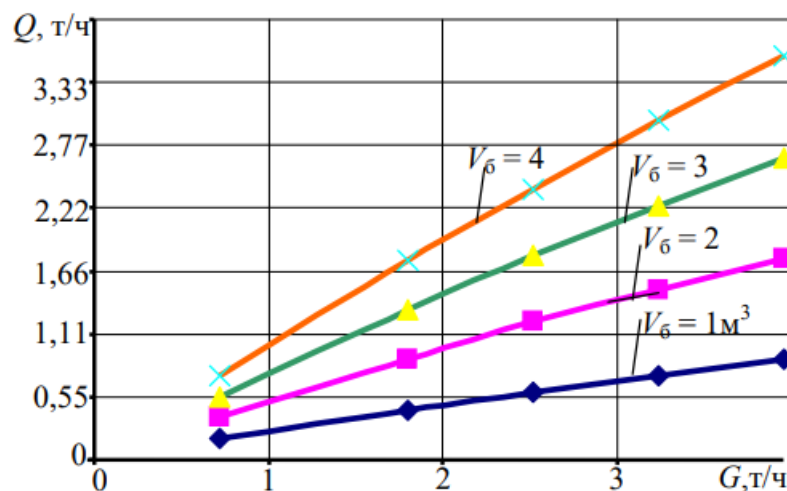


Рисунок 2.3 - Залежність продуктивності комбікормового агрегату від продуктивності дробарки та місткості бункера

З рисунка 2.3 видно, що з постійних значення зазначених вище чинників і  $h = 0,5$  м;  $v_{тр} = 1,5$  м/с;  $v_p = 1$  м/с;  $n_{ж} = 200$  голів із збільшенням продуктивності дробарки продуктивність кормового агрегату явно зростає (рисунок 2.4). Так, при місткості бункера агрегату 1 м<sup>3</sup>

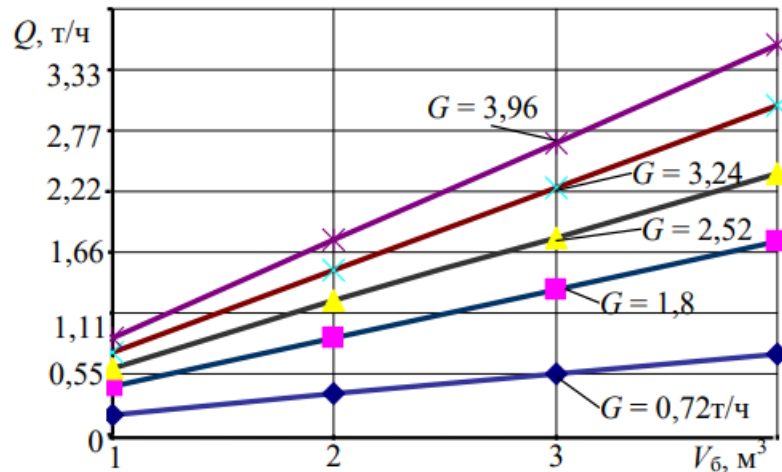


Рисунок 2.4 - Вплив місткості бункера на продуктивність кормового агрегату АКМ-3М за різної продуктивності дробарки зерна

Продуктивність агрегату зростає у 4,7 рази, а при місткості бункера 3 м<sup>3</sup> продуктивність агрегату зростає у 4,8 рази. Очевидно, що продуктивність агрегату прямо пропорційна місткості бункера, так як місткий агрегат завантажується рідше. Але з іншого боку в одній виробничій групі на більшості ферм рідко міститься більше 200 голів худоби, то при видачі за добу 7 кг корму на голову, на один прийом необхідна місткість бункера повинна бути не більше 3 м<sup>3</sup>.

Відповідно відстань перевезення комбікорму невеликий вплив на продуктивність кормового агрегату при різній продуктивності дробарки зерна (рисунок 2.5).



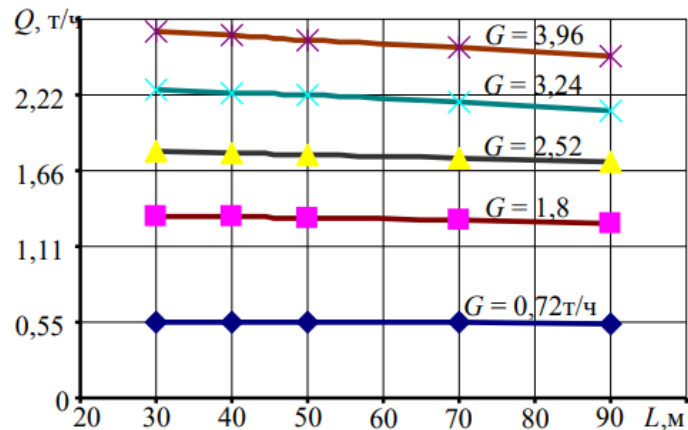


Рисунок 2.5 - Залежність продуктивності агрегату від продуктивності дробарки та відстані транспортування

Так, із збільшенням плеча перевезення комбікорму із 30 до 90 м, тобто. в 3 рази, при продуктивності дробарки  $G = 3,96$  т/год продуктивність агрегату зменшується всього на 4,5%, а при рівній  $G = 2,52$  т/год на 4,3%, що очікується, оскільки тривалість транспортних робіт загалом балансі технологічного часу становить незначну частку (до 5%). Основна частка технологічного часу посідає безпосередню роботу дробарки по завантаженню з подрібненням компонентів суміші. Однак, завжди краще ближче розміщення місць завантаження кормів до місць їх видачі

Підбір дробарки за продуктивністю на подрібненні зернових компонентів необхідно проводити за умови потреби. Аналіз показав, що дробарки з гнучкими всмоктуючими та нагнітальними шлангами витрачають електроенергії до 7 кВт·год/т. А так як на тваринницькій фермі зазвичай наявні трактори МТЗ-82 (80) агрегат, що розробляється, планується агрегатувати саме з ними (клас 0,9-1,4 ТЗ), у яких через ВОМ можна відібрати не більше 80% потужності трактора, тобто  $50 \times 0,8 = 40$  кВт, отже продуктивність дробарки зерна не повинна перевищувати 5,5 т/год.

Таким чином, одержані аналітичні вирази дозволили визначити раціональні технологічні параметри комбікормового агрегату.

Для реалізації цієї концепції було розроблено та виготовлено агрегат комбікормовий мобільний АКМ-3М з корисною ємністю бункера 3м<sup>3</sup>.



Рисунок 2.6 – Агрегат комбікормовий мобільний АКМ-3М

У ньому застосовані простий по конструкції похилий одношнековий змішувач з приводом від гідромотора, встановлений на рамі за допомогою датчиків електронного тензометричного зважувального пристрою, і дробарка з всмоктувально-нагнітальної системою. Гідромотор приводиться в дію від штатного гідронасосу НШ-32(50) гідросистеми трактора. На рамі перед змішувачем також встановлена зернова дробарка з приводом від ВОМ через контрпривод і клинопасову передачу, з всмоктувальним соплом на гнучкому рукаві і трубопроводом, що відводить подрібнений матеріал в бункер змішувача.

При необхідності конструкція агрегату дозволяє також готувати та роздавати кормосуміші з додаванням подрібнених окремо соковитих кормів. Обслуговує агрегат один оператор.

Попередні випробування комбікормового агрегату АКМ-3М виявили необхідність оптимізації конструктивних параметрів змішувальної частини машини з метою зниження потужності потрібної на привід шнека, а зрештою на гідросистему трактора, але з дотриманням вимог щодо якості сумішоутворення.

### **2.3. Раціональні параметри автономних мобільних та стаціонарних технологічних модулів для приготування комбікормів**

На основі виконаних досліджень та досвіду експлуатації блочно-модульних підприємств було обґрунтовано раціональні параметри автономних стаціонарних та мобільних автономних модулів для приготування комбикормів.

Ці параметри поділені нами на такі категорії: конструктивні, технологічні, структурні, економічні.

Конструктивні параметри:

- Автономні модулі можуть бути виконані в стаціонарному або мобільному варіанті;
- Обладнання автономних технологічних модулів має бути розміщене в єдиному жорсткому металевому каркасі;
  - автономні модулі повинні мати підвищену монтажну та транспортну готовність;
- стаціонарні автономні модулі повинні мати габаритні розміри, що збігаються з габаритами стандартного 20-футового транспортного контейнера (6×2,5×2,6 м) з можливістю з'єднання двох і більше модулів у єдину конструкцію як у вертикальній, так і горизонтальній площинах;
- конструкція стаціонарного автономного модуля повинна передбачати наявність у ньому розсувних або знімних стінок і прорізів, що забезпечують швидкий та зручний доступ до обладнання та дотримання норм безпеки;
- Привід обладнання стаціонарного модуля - електричний;
- Привід обладнання автономного мобільного модуля - від двигуна транспортного засобу (за допомогою ВОМ) або від власного дизельного або електродвигуна.

Технологічні параметри:

- для сільгоспідприємств скотарського напрямку, у яких запаси фуражного зерна зберігаються на декількох зерноскладах або мають кілька територіально розосереджених тваринницьких ферм, літніх таборів, кошар, раціональним комбикормовим обладнанням є мобільний автономний модуль розміщується на власному шасі 9-1,4 ТЗ; – в автономних технологічних модулях продуктивністю 0,5, 1, 2 та 3 т/год використовується прямоточна схема

організації технологічного процесу, що передбачає послідовне подрібнення, одноетапне дозування та змішування компонентів корму;

– в автономних стаціонарних технологічних модулях продуктивністю 3 т/год може застосовуватися технологічна схема, яка передбачає формування попередніх сумішей сировини із повторним дозуванням;

- Періодичний режим роботи технологічного обладнання модуля, коефіцієнт періодичності  $n \geq 0,5$ ;

- Коефіцієнт надійності (стабільності) технологічного процесу - не менше 0,95;

- Коефіцієнт готовності модуля - не менше 0,99;

- Коефіцієнт технічного обслуговування - не менше 0,9;

- Коефіцієнт технічного використання модуля - не менше 0,98;

- Коефіцієнт використання часу зміни - не менше 0,85;

- Можливість адаптації до потреб сільгосппідприємства використовуваної в модулі схеми технологічного процесу шляхом введення або виключення операцій додаткової обробки сировини;

– у технологічному процесі автономного мобільного модуля використовують попередньо підготовлені та очищені компоненти корму;

- Ступінь відхилення середньозваженого розміру частинок подрібненої сировини (модуля крупності) від необхідного  $m_k \leq 5\%$ ;

- Похибка дозування сировини  $\delta d \leq 2\%$ ;

– ступінь однорідності змішування сировини  $\lambda_c \geq 95\%$ ;

– наявність автоматизованої системи керування технологічним процесом модуля;

- мінімальна кількість обслуговуючого персоналу модуля.

Структурні параметри:

- автономність роботи технологічних модулів;

– блочно-модульна структура комбікормового підприємства;

– до складу блочно-модульного підприємства входять основні блоки, що забезпечують виконання основних операцій обробки сировини, та додаткові

блоки, що забезпечують виконання додаткових операцій підвищення поживної цінності та покращення структури комбікормів;

- відкрита виробнича структура, що забезпечує можливість приєднання додаткових блоків (модулів) до чинного підприємства;

– автономні стаціонарні модулі утворюють за своєю продуктивністю типорозмірний ряд: 0,5, 1, 2 та 3 т/год.

## **ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ**

1. Для господарств, переважно скотарського спрямування, в яких корма зберігається на декількох складах та (або) мають кілька територіально розосереджених тваринницьких об'єктів (ферм, літніх таборів, кошар), базовим технологічним модулем може бути мобільний автономний модуль, що розміщується на власному шасі та агрегатується з тракторами тягового класу 1,4 ТС місткістю бункера до 4 м<sup>3</sup>.

2. Базові автономні стаціонарні модулі утворюють типорозмірний ряд за продуктивністю: 0,5; 1; 2 і 3 т/год і повинні вписуватися в габаритні розміри стандартного 20-футового (6×2,5×2,6 м) транспортного контейнера з можливістю технологічного з'єднання модулів.

3. Ефективне внутрішньогосподарське виробництво комбікормів може бути реалізовано шляхом синтезу на основі автономних технологічних модулів з раціональними комплексами обладнання та можливістю адаптивної зміни схеми технологічного процесу відповідно до вимог сільгоспвиробництва шляхом послідовного запровадження або виключення додаткових операцій.

### **3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВНУТРІШНІГОСПОДАРСЬКОГО КОМБІКОРМОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

#### **3.1. Характеристики та класифікація потоків сировини при внутрішньогосподарському виробництві комбікормів**

Процес виробництва комбікорму є потік технологічних операцій обробки та з'єднання різних видів сировини. У ході його виконання має певні властивості сільськогосподарську сировину рослинного та тваринного походження, а також мінеральну сировину перетворюються на корм для сільськогосподарських тварин з новими властивостями. Сировина зазвичай надходить на переробку у формі однорідних за складом та структурою середовищ – твердих сипких або рідких. Ще однією характерною особливістю сировини для приготування комбікорму є його різномірність різних його видів за складом та будовою, що створює деякі труднощі при поєднанні (змішуванні) компонентів у готовий корм.

Для системи виробництва комбікормів характерна наявність кількох паралельних вхідних потоків сировини, що є окремими компонентами комбікорму, тому для неї характерна наявність декількох технологічних потоків сировини. Вони поділяються на дві групи: сировину, яка потребує попередньої підготовки (обробки), яку здійснюють у відповідній підсистемі, і не вимагає попередньої підготовки (готові премікси, вітаміни та ін.).

Вхідні показники якості сировини під час приготування комбікорму мінливі у межах, що впливає якість готової продукції. Тому технологічний потік обробки сировини може бути адаптивним, тобто. забезпечувати отримання готового корму в прийнятному діапазоні значень вихідних показників якості при змінах у певних межах значень вхідних показників якості сировини, що надходить до системи.

Сировина для приготування комбікорму, яка потребує попередньої підготовки, за походженням поділяється на групи: зернові компоненти, білкові, мінеральні компоненти тощо. [14]. Ці групи сировини вимагають застосування різних технологічних операцій для підготовки до змішування. Сировина, що надійшла в систему в процесі переміщення від «входу» до «виходу» піддають обробці в процесі виконання технологічних операцій, в результаті чого поступово змінюються його технологічні властивості, в результаті чого воно набуває заздалегідь заданих вихідних показників якості. Ці потоки сировини класифіковані як первинні. Первинний потік сировини в процесі обробки структурно є послідовністю технологічних операцій і зв'язків між ними, що утворюють підсистему підготовки даного виду сировини в рамках загальної технологічної системи виробництва комбікорму.

Характерною особливістю сировини для приготування комбікорму є можлива наявність у ньому домішок або компонентів, що вимагають видалення (плівка на зернівках вівса та ячменю, сторонні домішки) та виведення із системи внаслідок виконання технологічних операцій підготовки сировини.

Технологічні операції, що утворюють потік сировини під час виробництва комбікорму, поділені на основні (операції підготовки та обробки сировини) та допоміжні (операції транспортування та накопичення (проміжного зберігання) сировини).

Підготовлена сировина, що не вимагає підготовки, надходить у центральну підсистему приготування розсипного комбікорму (підсистему дозування та змішування компонентів), де змішується, утворюючи потік остаточного напівфабрикату (розсипного комбікорму) і готового продукту. Таким чином, всі потоки сировини у системі виробництва комбікормів сходяться. У разі, коли сировину вводять у підсистему отримання проміжного напівфабрикату (екструдат, премікс), утворюючи відповідний потік, його класифікують як вторинний. Потоки підготовленої сировини (первинні) і проміжних напівфабрикатів (вторинні), що сходяться, утворюють потік остаточного напівфабрикату (розсипного комбікорму), що переходить потім у потік

остаточного продукту – готового комбікорму, який і є головним потоком технологічної системи.

Характерною особливістю потоків сировини виробництва комбікормів і те, що будучи стаціонарними, вони поєднують у собі ознаки як дискретних, і безперервних потоків: сам потік є безперервним, але виконується дискретними циклами, у яких виконується обробка деякої порції сировини.

По виду зв'язку між операціями технологічний потік сировини для комбікорму можна віднести до потоків з напівжорстким зв'язком, тобто. він містить групи операцій (підсистеми), що мають жорсткі зв'язки між операціями всередині групи, тоді як самі групи (підсистеми) пов'язані з гнучкими зв'язками, що є операціями накопичення та проміжного зберігання підготовленої сировини.

Головною метою формування технологічного потоку сировини для внутрішньогосподарського комбікормового виробництва є синтез стабільного потоку з постійними вихідними показниками якості підготовленої сировини та, у результаті, готового комбікорму. Так як домогтися абсолютної стабільності потоку протягом тривалого проміжку часу практично неможливо, то нашою метою є формування такого потоку, який забезпечить необхідну ступінь стабільності із заданою ймовірністю, що дозволяє забезпечити необхідну якість комбікорму, що готується.

### **3.2. Системний аналіз внутрішньогосподарської технологічної системи виробництва комбікормів**

Щоб розробити алгоритми формування потоків сировини технологічних операцій виробництва комбікормів, необхідно передусім провести системний аналіз внутрішньогосподарської технологічної системи їх приготування. У його ході повинні бути виявлені складові системи: підсистеми та технологічні операції обробки (підготовки), що входять до них, і з'єднання сировини.

На виконання системного аналізу технологічної системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів використали метод



декомпозиції цілей [1, 17], навіщо вона була представлена як «дерева цілей», тобто. графа цілей і завдань (рисунок 3.1), вершини якого відбивають мети функціонування підсистем, а ребра представляють завдання, розв'язувані цими підсистемами.

Цілі підсистем визначаються технологічною стадією обробки продукту, а завдання є технологічними операціями, які потрібно виконати в ході цієї стадії для досягнення поставленої мети. Оскільки метою аналізу є визначення способу отримання кінцевого продукту (комбікорму) із заданими показниками якості, то систему його виробництва розглянемо у напрямку від «виходу» до «входу», у відповідному напрямку виконано і нумерацію елементів

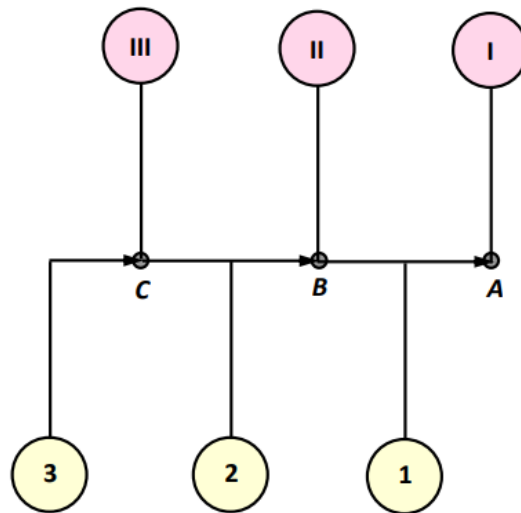


Рисунок 3.1 – Граф цілей та завдань технологічної системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів

Цілі підсистем: I – зробити готовий продукт (готовий комбікорм) із заданими показниками якості; II – зробити остаточний напівфабрикат (розсипний комбікорм) із заданими показниками якості; III – зробити підготовлену сировину (компоненти комбікорму) із заданими показниками якості.

Завдання підсистем: 1 – виконати дозування та змішування підготовленої сировини (компонентів комбікорму); 2 – виконати обробку сировини

(компонентів комбікорму); 3 – виконати підготовку сировини (компонентів комбікорму) до обробки.

Підсистеми: А – одержання готового продукту (готового комбікорму); В – одержання остаточного напівфабрикату (розсипного комбікорму); С – підготовки сировини.

В результаті проведеного аналізу системи виробництва комбікормів були визначені цілі та завдання її підсистем, на підставі яких виявлені підсистеми, що її утворюють, а саме: А – підсистема отримання готового комбікорму (готового продукту), що включає операції остаточної обробки розсипного комбікорму, такі як екструдкування, гранулювання та упаковка; В – підсистема отримання розсипного комбікорму (остаточного напівфабрикату), що включає операції дозування та змішування попередньо підготовлених компонентів; С - підсистема підготовки сировини, що включає операції підготовки різних видів.

Центральною підсистемою в технологічній системі є підсистема отримання розсипного комбікорму (дозування та змішування компонентів), до якої спрямовані всі матеріальні потоки. Зазначимо, що з використанням спрощеної технологічної схеми виробництва комбікорму підсистема А може бути, тобто. приготований розсипний комбікорм транспортують безпосередньо до місць годівлі тварин без подальшої обробки.

На рисунку 3.2 показана загальна структурна схема системи виробництва комбікорму, в якій сировина поділяється на дві частини: що вимагає попередньої підготовки, яку здійснюють у підсистемі С, і не вимагає підготовки (премікси та ін), яке у незмінному вигляді направляють у підсистему.

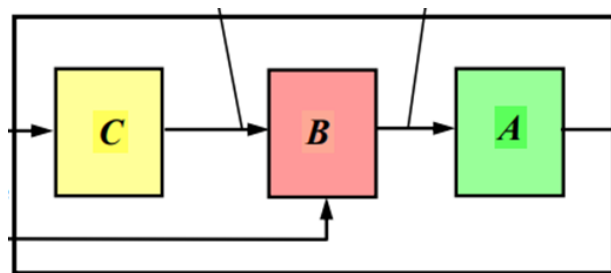
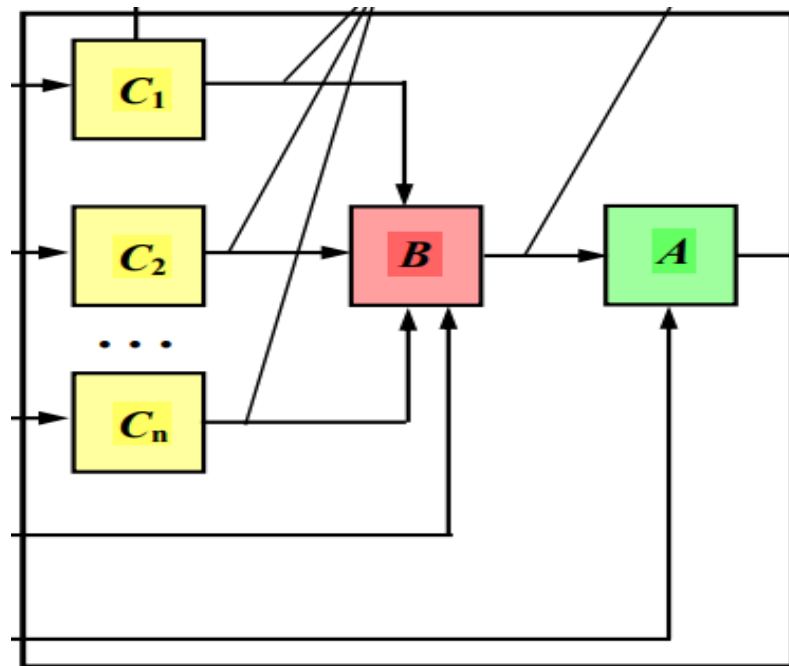


Рисунок 3.2 – Загальна структурна схема системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів

Сировину для виробництва комбікорму, що вимагає попередньої підготовки, за походженням ділять на групи: зернові компоненти, білкові, мінеральні компоненти, соковиті корми та ін. Підготовка цих груп сировини вимагає застосування різних технологічних операцій. Тому при системному аналізі доцільно розділити підсистему підготовки сировини на групу підсистем  $C_1 \dots C_n$ , кількість яких відповідає кількості використовуваних груп сировини (рисунок 3.3).



А – підсистема одержання готового комбікорму; В – підсистема отримання розсипного комбікорму (дозування та змішування сировини);  $C_1 \dots C_n$  – підсистеми підготовки сировини

Рисунок 3.3 – Уточнена загальна структурна схема системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів

Слід зазначити, що при виробництві комбікорму може бути використана сировина, яка не вимагає підготовки і не входить до складу готового продукту, наприклад, вода та пара. Для підсистеми одержання готового комбікорму А характерне використання упаковки (тари).

Як видно з рисунку 3.4, особливість системи виробництва комбікормів – це наявність кількох «входів», кількість яких визначається кількістю видів

сировини, що використовуються, і одного «виходу» – випуску готового комбікорму.

Для реального виробництва кінцевою метою є створення системи, що забезпечує виробництво в рамках сільгосп підприємств високоякісних повнораційних комбікормів, тому доцільно використовувати досить складні технологічні схеми, що передбачають приготування із попередньо підготовленої і не потребує підготовки сировини проміжних напівфабрикатів, зокрема преміксів, а також екструдатів рослин, що є, своєю чергою, компонентами, що з'єднуються в остаточний напівфабрикат (розсипний комбікорм) у підсистемі В1. Їх виробництво у разі реалізується у окремих підсистемах, позначених як В2...Вn.

Виконаний аналіз показав, що морфологічно технологічний потік виробництва комбікорму являє собою розгалужений потік, що сходиться, в якому з декількох видів сировини виробляють один вид продукції, причому основною гілкою потоку є та, яка проходить через підсистему виробництва розсипного комбікорму В і пов'язує її з підсистемою отримання готового комбікорму А решта гілок є допоміжними. Допоміжні гілки потоку є паралельними, тобто. Для системи виробництва комбікорму характерне паралельне виконання груп операцій, що утворюють підсистеми.

За видом зв'язку між операціями технологічний потік внутрішньогосподарського виробництва комбікорму був віднесений до потоків з напівжорстким зв'язком. Це означає, що потік містить підсистеми (групи операцій), жорстко пов'язані всередині підсистем, між собою ці групи званий гнучко, причому ці зв'язки являють собою операції проміжного зберігання (накопичення) підготовленої сировини та напівфабрикатів у накопичувальних ємностях. Підсистеми являють собою блоки операцій усередині технологічного потоку, тому і на машинно-апаратному рівні здійснює їх обладнання можна об'єднувати в блоки, що утворюють технологічний модуль, або автономні модулі.

Така морфологічна структура технологічного потоку найбільше підходить для внутрішньогосподарського виробництва комбікормів, оскільки забезпечує гнучку організацію виробництва та його адаптацію до мінливих зовнішніх умов, що необхідно при характерному для сільського господарства нестабільному якості сировини та періодичній наявності чи відсутності різних його видів.

За тимчасової характеристики технологічний процес внутрішньогосподарського виробництва комбікормів є безперервно-дискретним процесом, бо за його виконанні протягом певного діапазону часу виробляється певну обмежену кількість (порція) комбікорму, обумовлена місткістю змішувача, тобто. для цього процесу характерна наявність виробничих циклів. Такий технологічний процес поєднує властивості безперервного та дискретного процесів – усередині циклу процес є безперервним, але виконується дискретними циклами.

Підсистеми технологічної системи виробництва комбікорму складаються з технологічних операцій, пов'язаних потоками сировини та напівфабрикатів. Виконання операції може містити виконання як одного, так і декількох пов'язаних типових фізичних процесів. Зазвичай кількість операцій у підсистемі становить від двох до чотирьох. До кожного виду підсистем виробництва комбікормів характерно наявність у складі певних операцій. Для підсистеми одержання готового комбікорму А характерна наявність операцій гранулювання, екструдкування, дозування та пакування комбікорму. Підсистема отримання розсипного комбікорму (В1) включає операції дозування та змішування попередньо підготовлених видів сировини. Підсистеми отримання проміжних напівфабрикатів В<sub>n</sub> також включають операції дозування та змішування, накопичення та проміжного зберігання, а також операції, специфічні для даного продукту, зокрема екструдкування. Підсистеми підготовки сировини містять, як правило, операції сепарації (очищення) сировини, його подрібнення і проміжного зберігання.

При аналізі та синтезі систем виробництва комбікорму графічним методом процеси дозування сировини недоцільно виділяти в окремі операції, їх

раціонально вводити в єдину операцію разом із подальшим процесом обробки, наприклад, подрібнення. Винятком є випадок застосування вагових дозаторів, виконаних у вигляді дискретних машин.

Виявлені внаслідок системного аналізу особливості та структура технологічної системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів є основою для її подальшого синтезу на новому якісному рівні.

Наступним етапом досліджень є дослідження технологічних потоків сировини основних та додаткових операцій виробництва комбікормів та розробка алгоритмів їх формування

### **3.3. Загальний алгоритм формування потокових технологічних операцій виробництва комбікормів**

Структура потоку сировини у його обробки є послідовність технологічних операцій та його зв'язків і утворює підсистему підготовки конкретного виду сировини у межах загальної технологічної системи виробництва комбікорму. У процесі розвитку технологій існуючі варіанти організації технологічних потоків обробки сировини в рамках відповідних підсистем перестають задовольняти все зростаючим вимогам споживачів до якості продукції, що створює потребу у синтезі досконаліших технологічних потоків. Наприклад, в останні роки значно посилили вимоги до біологічної безпеки комбікорму щодо вмісту цвілевих грибів і мікотоксинів, що вимагало введення в технологічний процес операцій знезараження сировини, заснованих на нових для комбікормової галузі хімічних та фізичних процесів.

Новий технологічний потік сировини формують на базі старого шляхом введення в нього удосконалених елементів (операцій), які, замінюючи виявлені в результаті системного аналізу неефективні операції, формують технологічну підсистему, відмінну від вихідної. Таким чином, синтез нового технологічного потоку сировини – це синтез нових та вдосконалення вже існуючих елементів, їх зв'язків та структури, які, у поєднанні з незмінними елементами, формують

якісно нову технологічну підсистему, що супроводжується збільшенням її стійкості та цілісності [19].

Так як номенклатура видів сировини при виробництві комбікорму зазвичай постійна, формування нового технологічного потоку обробки сировини зазвичай виконують на основі вже існуючого потоку. Тому спочатку необхідно вивчити існуючий аналогічний потік, визначивши характерні параметри якості обробленого (підготовленого) сировини в точці виходу підсистеми, а також її продуктивність. Це дозволить оцінити рівень стабільності підсистеми, тобто. її здатність забезпечувати стабільну якість підготовки сировини, і дозволить зробити висновок про необхідність її вдосконалення. При цьому стабільність підсистеми оцінюють за параметром (вихідним показником), значимим для стану наступної технологічної підсистеми.

Для аналізу підсистеми, що утворюється потоком оброблюваної сировини, необхідно провести його декомпозицію та виявити технологічні операції, з яких він складається. Потім, виходячи з прийнятих показників якості обробки сировини, слід дати відповідь на запитання: чи потрібно для їх поліпшення водити в технологічний процес додаткову операцію обробки сировини, чи достатньо буде обмежитись удосконаленням чи заміною існуючих?

Очевидно, що введення в технологічний потік додаткової операції ускладнить його структуру та підвищить підсумкову собівартість комбікорму, тому використовувати цей метод потрібно лише тоді, коли відсутня можливість удосконалити існуючі операції та процеси у їхньому складі. Наприклад, неможливо забезпечити знезараження сировини для комбікорму лише вдосконаленням операцій його обробки – для цього потрібне введення в потік нової спеціальної операції.

У більшості випадків буває достатньо на основі виробничого досвіду та експериментальних досліджень виявити технологічну операцію, що вносить нестабільність у потік сировини і не забезпечує стабільну якість готового продукту в точці виходу, та вдосконалити її. Саме ця операція, а точніше

протікає під час її виконання процес має найбільшу чутливість, тобто. має найбільшу міру реакцію зовнішні впливи.

Для оптимізації існуючої операції обробки (підготовки) сировини потрібно провести її дослідження, що складається в декомпозиції на окремі фізичні процеси, виявленні з них найбільш впливає на вихідні показники якості процесу, його експериментальних та теоретичних дослідженнях, оптимізації на основі їх результатів обраного процесу та його зв'язків з іншими процесами в рамках операції, результатом чого буде зменшення її чутливості та підвищення стабільності.

Збільшення стабільності технологічного потоку сировини в деяких випадках можна досягти, застосовуючи метод заміни існуючої операції обробки сировини на нову, засновану на використанні іншого фізичного процесу, але забезпечує подібний результат при підвищенні стабільності вихідного показника якості. Наприклад, у деяких ситуаціях, можна замінити операцію подрібнення (подрібнення) зерна на його плющення.

Основним напрямом аналізу та вдосконалення існуючого технологічного потоку сировини для приготування комбікорму є визначення «вузьких місць» підсистеми, що часто перебувають у недостатній пропускну́й спроможності транспортної системи та недостатній місткості проміжних накопичувальних ємностей, що й викликає зниження продуктивності, внаслідок чого підсистема працює нестабільно. Технологічний потік обробки (підготовки) сировини для приготування комбікорму є потоком напівжорстким зв'язком, т.к. включає операції, що мають жорсткий зв'язок, а з потоком приготування готового комбікорму він має гнучку зв'язок, що реалізується як операція проміжного зберігання підготовленої сировини в накопичувальній ємності. Саме ця ділянка часто є «вузьким місцем» потоку сировини, що знижує продуктивність технологічної лінії та стабільність її роботи. Оптимізація операції транспортування та проміжного зберігання сировини полягає у розрахунку та виборі транспортних засобів достатньої пропускну́й спроможності та розрахунку



необхідної та достатньої місткості накопичувальних ємностей та їх установці замість наявних.

### **3.4. Алгоритм та модель оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового підприємства**

При проектуванні нових та реконструкції існуючих внутрішньогосподарських комбікормових підприємств потрібно сформувавши та обґрунтувати оптимальну структуру використовуваних технологічних потоків сировини. Основним таким потоком є технологічний потік підготовки сировини, розміщений перед центральною технологічною операцією – змішування підготовлених компонентів комбікорму. Наступні операції обробки приготованого в результаті змішування розсипного комбікорму (гранулювання, фасування та ін) мають другорядне значення. Отже, процес оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового підприємства є перш за все оптимізацією технологічного потоку підготовки компонентів до змішування.

Технологічний потік сировини в процесі його підготовки до змішування структурно є послідовністю технологічних операцій і зв'язків між ними, утворюючи підсистему підготовки конкретного виду сировини в рамках технологічної системи виробництва комбікорму, наприклад підсистему підготовки зернових компонентів, підсистему підготовки білкової сировини та ін. варіанти структури технологічних процесів підготовки сировини у межах відповідних підсистем перестають задовольняти все зростаючим вимогам споживачів до якості продукції, і виникає необхідність синтезу вдосконалених технологічних процесів. Зокрема, останнім часом значно посилюються вимоги щодо біологічної безпеки комбікорму, що виробляється в частині вмісту в ньому цвілевих грибів і продуктів їх життєдіяльності, що вимагало введення в технологічний процес операцій знезараження сировини, заснованих на нових для цієї галузі фізичних і хімічних процесах.

Для оптимізації кінцевою метою є синтез операцій, що взаємодоповнюють один одного, функціонально завершеної підсистеми підготовки сировини в рамках технологічної системи комбікормового виробництва. Новий технологічний потік (процес) підготовки сировини для приготування комбікормів створюють не з нуля, а на базі вже існуючого – спочатку у вигляді вдосконалених елементів (операцій), які принаймні заміни ними виявлених у результаті системного аналізу неефективних елементів формують технологічну підсистему, відмінну від вихідної. На кожному з етапів оптимізації повинні бути збережені ефективні частини технологічної системи та заміни її регресивних елементів. Таким чином, синтез нового технологічного потоку – це синтез нових та вдосконалення чи заміна наявних елементів та зв'язків, які, у поєднанні з незмінними елементами та зв'язками, формують якісно нову технологічну підсистему, що супроводжується підвищенням рівня її цілісності та стійкості.

На жаль, проектування технологічних процесів підготовки сировини для внутрішньогосподарського приготування комбікормів проводиться останніми роками часто здійснюється безсистемно, без застосування науково обґрунтованих формалізованих методів, що негативно позначається їх ефективності. Зазвичай досліджують кілька варіантів структури технологічного процесу, відчуваючи труднощі щодо найбільш оптимального, оскільки відсутня алгоритм виявлення їх ефективності. Тому потрібно створити алгоритм оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового заводу, що є алгоритмом формування структури технологічного процесу (потіку) підготовки сировини для приготування комбікормів.

На підвищення ефективності технологічного процесу (потіку) необхідно знизити чутливість його елементів до зміни вхідних параметрів, тобто. підвищити стабільність функціонування системи, збільшити ефективність матеріальних зв'язків між її елементами та удосконалити структуру потоку [13]. При цьому необхідно врахувати, що вивчення та оптимізація технологічної операції, як і складових її процесів у машинах та апаратах, без урахування

закономірностей усієї підсистеми підготовки сировини не дозволить провести її оптимізацію.

Для синтезу технологічного процесу (поток) підготовки сировини для внутрішньогосподарського приготування комбикормів потрібно визначити і ясно сформулювати кінцеву мету дослідження і дати прогноз очікуваного результату [19].

p align="justify">

Під стабільністю технологічного потоку сировини (підсистеми підготовки сировини) ми розуміємо незмінність статистичних характеристик обраного показника якості.

Оцінка рівня стабільності технологічного потоку виконано з урахуванням ентропійної оцінки розподілу значень обраного показника якості підготовленого сировини у точці виходу підсистеми [21]. Для оцінки стабільності підсистеми було прийнято параметр (вихідний показник), значимий стану наступної підсистеми, саме підсистеми дозування і змішування компонентів корма. Грунтуючись на експериментальних даних, отриманих в ході експлуатації аналогічної вже існуючої технологічної лінії, визначили рівень стабільності функціонування підсистеми за формулою (3.1) на базі ентропійної оцінки розподілу значень обраного показника якості підготовки сировини [19]:

$$\eta_i = \frac{H}{H_{\max}}, \quad (3.1)$$

де  $H$  - Ентропія стану підсистеми;

$H_{\max}$  – максимальна ентропія підсистеми,  $H_{\max} = 1$ .

Прийняли положення, що з приготуванні комбикормів всі підсистеми є бінарними, тобто. можливий випуск лише якісного чи неякісного корму. Для бінарної підсистеми ентропію визначають за формулою (3.2) [217]:

$$H = -P_i \log_2 P_i - (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i), \quad (3.2)$$

де  $P_i$  – ймовірність влучення значення обраного показника якості в прийнятий інтервал (поле допуску);

$(1 - P_i)$  – ймовірність виходу значення обраного показника якості прийнятого інтервалу (поля допуску).

Рівень стабільності підсистеми повинен, по можливості, повинен бути близьким до максимального значення:  $\eta_i \rightarrow 1$ .

Рівень цілісності загальної технологічної системи приготування комбікорму, враховуючи рівень стабільності підсистем, що її утворюють, визначимо за формулою:

$$\Theta = \eta_i + \dots + \eta_n - (n - 1). \quad (3.3)$$

Рівень цілісності технологічної системи  $\Theta \leq 0$  відповідає слабо організованим (суммативним) системам, а рівень  $1 \geq \Theta \geq 0$  характерний для високоорганізованих (цілісних) систем [137].

На базі виконаної статистичної оцінки необхідно виявити операцію, яка вносить нестабільність у технологічний потік сировини і не дозволяє гарантувати стабільну його якість у точці виходу підсистеми. Потім, відповідно до вимог до технологічного процесу та прийнятих показників якості підготовленої сировини на виході підсистеми, слід дати відповідь на запитання: чи потрібно для покращення вихідних показників якості сировини вводити в технологічний процес додаткову операцію її підготовки, чи можливо обмежитися удосконаленням або заміною операцій, що вже використовуються?

Введення в технологічний процес додаткової операції підготовки сировини ускладнить структуру потоку і збільшить собівартість готового комбікорму, тому використовувати цей метод можна тільки тоді, коли відсутня можливість удосконалення операцій, що використовуються і утворюють їх процесів. Наприклад, неможливо забезпечити знезараження зернової та білкової сировини для комбікорму методом удосконалення операцій його підготовки – для цього потрібно запровадити додаткові спеціальні технологічні операції, наприклад, вплив НВЧ-випромінювання. Після підбору додаткової операції потрібно визначити її місце у структурі підсистеми підготовки сировини так, щоб уникнути її переускладнення та, по можливості, не розірвати існуючі матеріальні зв'язки між її операціями

Для більшості випадків досить виявити на основі отриманого виробничого досвіду та результатів експериментальних досліджень технологічну операцію, що вносить нестабільність у потік підготовки сировини, і вдосконалити її. Адже саме ця технологічна операція, а точніше, що протікає під час її виконання фізичний процес, має найбільшу чутливість, тобто. найбільшу міру реакцію зовнішні впливи.

Для оптимізації існуючої операції підготовки сировини потрібно виконати її дослідження, що передбачає декомпозицію операції на фізичні процеси, визначити, який з них найбільше впливає на вихідні показники якості процесу, провести його експериментальні та теоретичні дослідження та оптимізувати на базі їх результатів відібраний процес та його співвідношень з іншими процесами усередині операції. Результатом оптимізації буде зменшення його чутливості та підвищення стабільності підсистеми.

Наприклад, для технологічного потоку обробки зерна як показники якості його обробки в точці виходу підсистеми приймають параметри, що характеризують ефективність дроблення, тобто. гранулометричний склад подрібненої сировини. Поліпшити ці показники та підвищити стабільність технологічного потоку можна методом удосконалення фізичного процесу дроблення зерна у рамках відповідної технологічної операції. Прикладом може бути заміна традиційних горизонтальних молоткових дробарок на дробарки з різанням, що забезпечують більш високу якість дроблення зерна [17].

Проблема підвищення стабільності технологічного процесу підготовки сировини для деяких випадків може бути усунена способом заміни існуючої операції його обробки на нову, засновану на використанні іншого фізичного процесу, але забезпечує схожий результат при одночасному збільшенні стабільності вихідного показника якості. Наприклад, іноді можна замінити операцію подрібнення зерна на операцію екструдуювання, що забезпечить підвищення його засвоюваності у складі комбікорму.

Одним з основних напрямів аналізу та оптимізації існуючого технологічного потоку підготовки сировини є визначення «вузьких місць»

підсистеми, здебільшого перебувають у відсутності чи недостатньої місткості проміжних накопичувальних ємностей, тобто. у неефективності чи відсутності операції проміжного зберігання (накопичення), що призводить до зниження загальної продуктивності, внаслідок чого підсистема є нестабільною [18].

Технологічний потік підготовки сировини для приготування комбікорму класифікують як потік із напівжорстким зв'язком, тобто. він містить операції, пов'язані між собою жорстким зв'язком, а з потоком дозування та змішування сировини – гнучким зв'язком, що реалізується у формі операції проміжного зберігання підготовленої сировини в накопичувальній ємності, розміщеній перед змішувачем. Операція проміжного зберігання (накопичення) сировини може бути розміщена на вході підсистеми. Саме ця операція може бути «вузьким місцем» потоку сировини, що знижує продуктивність всієї технологічної лінії та стабільність її функціонування, а також стабільність наступної підсистеми дозування та змішування сировини. Оптимізація або введення в технологічний процес операції проміжного зберігання сировини полягає в розрахунку необхідної та достатньої місткості накопичувальних ємностей, їх місця у структурі потоку та їх подальшому монтажу.

Після виконання оптимізації технологічного потоку сировини за прийнятим під час виконання алгоритму напрямку проводиться синтез (композиція) нового оптимізованого технологічного процесу (потіку) підготовки сировини методом складання його структурної (операторної) моделі та оцінка її стабільності на базі ентропійної оцінки розподілу значень обраного показника якості підготовленого до змішування сировинного компонента у точці виходу підсистеми. Збільшення рівня стабільності технологічного потоку підготовки сировини для приготування комбікорму порівняно з існуючим означає, що задана мета дослідження досягнута. Якщо результат незадовільний, дії в черговості, запропонованої алгоритмом, циклічно повторюють до отримання позитивного результату.

В цілому процес синтезу (формування) оптимальної структури технологічного процесу (потіку) підготовки сировини для приготування

комбікорму за створеним алгоритмом полягає у визначенні принципів її побудови  $\hat{W}$ , множини складових її елементів (технологічних операцій)  $\hat{Y} = \{\hat{Y}_i, i = 1 \dots n\}$  та безлічі матеріальних зв'язків  $e$  між елементами [12], таких, щоб забезпечувалося підвищення обраного показника оптимальності (показника якості підготовки сировини)

$$(W, Y, e) \rightarrow \max (W, Y, e) . \quad (3.4)$$

Після завершення синтезу структури технологічного процесу (поток сировини) складають машинно-апаратну схему відповідної йому технологічної лінії та підбір для неї раціонального комплексу машин та апаратів. Синтез технологічного процесу підготовки сировини раціонально зробити те щоб у результаті було створено цілісний функціональний комплекс взаємодоповнюючих одне одного операцій (підсистема), який може автономно працювати у загальній технологічній системі приготування комбікорму, тобто. на машинно-апаратному рівні формує автономний технологічний модуль.

Представлені вище положення дозволяють моделювати процес оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового заводу.

p align="justify">

Під структурою системи виробництва комбікормів на основі модульної побудови  $W$  далі розуміється структура технологічної системи, що є матеріальною реалізацією технологічного процесу. Структура задається декомпозиційному рівні безліччю її елементів  $Y$  і безліччю  $e$  зв'язків з-поміж них. Загалом структура технологічної системи задається графом:

$$W = W(Y; e) . \quad (3.5)$$

Елементи  $Y$  технологічної системи приготування комбікормів на Базі модульної побудови - це технологічні операції, що складаються з фізичних процесів і об'єднуються в підсистеми, на машинно-апаратному рівні вони являють собою функціональні модулі.

Зв'язки  $e$  структури технологічної системи виробництва комбікормів – це матеріальні потоки сировини, напівфабрикатів та готового комбікорму з

позначенням вектора їхнього переміщення між системними елементами (модулями).

Виконані дослідження дозволили встановити, що процес синтезу модульного підприємства з виробництва комбікормів має виконуватися як комплекс заходів, що враховують організаційний, методологічний та системний аспекти. Синтез та підбір компонування модульного внутрішньогосподарського заводу раціонально здійснити на базі технологічного підходу, поєднаного з техніко-економічним аналізом.

При виконанні початкового етапу проектування внутрішньогосподарських модульних комбікормових підприємств зазвичай відсутні повні та точні вихідні дані. Їх недолік не дозволить здійснити синтез технологічної системи на базі модульного принципу побудови і вирішити це завдання як класичне завдання оптимізації [216]. Тому в цьому випадку раціонально застосувати спосіб генерації деякої множини рішень, що задовольняють заданим вимогам, з яких і вибрати раціональний варіант компонування модульної системи. Тому спочатку потрібно здійснити синтез деякого набору компоновок (структур) модульного підприємства, що складається з наявного набору ра (номенклатури) технологічних модулів, що задовольняють потребам у якісних комбікормах типових сільгосппідприємств і відповідають заздалегідь визначеним загальним критеріям. На наступному етапі потрібно вибрати з них варіант компонування підприємства, що найбільше відповідає заданим для конкретного випадку критеріям.

Процес проектування (оптимізації) структури модульного комбікормового підприємства складається із двох самостійних етапів: загального та приватного. При виконанні загального етапу здійснюють синтез можливих варіантів компонування модульного підприємства із раніше створеної номенклатури типових технологічних модулів, для яких були підібрані раціональні комплекти обладнання.

Для виконання приватного етапу проектування (оптимізації) потрібно попередньо сформулювати критерії ефективного функціонування



внутрішньогосподарського модульного заводу та синтезувати всі можливі варіанти його компонування, що відповідають цим критеріям. Синтез компонок виконують з урахуванням синтезованої структурної схеми підприємства, як якої розглядають різні варіанти структури технологічної системи, тобто. структури технологічного процесу (поток) Цю структуру створюють відповідно до алгоритму оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського підприємства. Вона являє собою операторну модель технологічної системи, елементами якої є технологічні підсистеми (модулі) та операції.

Як цільові функції (критерії оптимізації) можуть бути прийняті різні показники, які можуть бути зведені до двох комплексних функцій: прибутку модульного підприємства та цілісності технологічної системи комбікормового виробництва.

Безпосередня мета проектування (оптимізації) внутрішньогосподарського модульного підприємства полягає в максимально можливому зменшенні витрат на виробництво одиниці маси повнораційного комбікорму, що задовольняє всім вимогам, що висуваються до нього, тобто. зниження його собівартості. При цьому собівартість приготовлених комбікормів повинна бути нижчою за ціну аналогічних покупних кормів з урахуванням транспортних витрат на їх постачання до сільгоспідприємства. Це, у свою чергу, викличе збільшення прибутку сільгоспідприємства, який є критерієм оптимальності (цільовою функцією) [141]:

$$\Delta R = \Delta R_k - R_z = (E_k - E'_k) + (H_k - H'_k) + (1 + n)R_k + \sum_1^i K_i (S_z - S_i) + \sum_1^j K_m (S_k - S_m) \quad , \quad (3.6)$$

де  $R_k$  - прибуток внутрішньогосподарського підприємства, руб.;

$R_z$  - прибуток сільгоспідприємства від продажу зерна, руб.;

$E_k$  - прямі експлуатаційні витрати на приготування комбікорму для зовнішнього комбікормового заводу, руб.;

$E_K$  – прямі експлуатаційні витрати на приготування комбікорму для внутрішньогосподарського комбікормового заводу, руб.;

$H_k$  - накладні витрати зовнішнього комбікормового заводу, руб.;

$H$  - до - накладні витрати внутрішньогосподарського заводу, руб.;

$n$  – ставка прибуток, %;

$S_z$  - вартість покупних ресурсів (насіння, пального тощо), витрачених на виробництво зерна, руб.;

$S_k$  - ринкова вартість випущеного внутрішньогосподарським заводом комбікорму, руб.;

$S_i$  - вартість інших (крім зернових) видів місцевої сировини для приготування комбікорму, руб.;

$S_m$  - вартість покупної сировини для приготування комбікорму, руб.;

$K_i$  – ставка оподаткування для зерна, %;

$K_m$  – ставка оподаткування приготування комбікорму, %.

$$\Delta R \rightarrow \max. \quad (3.7)$$

Таким чином, чим менші експлуатаційні  $E$  та накладні  $H$  витрати на внутрішньогосподарське приготування комбікормів, чим у більшій кількості використовують власну дешеву та меншою мірою куплену дорогу сировину, тим більший прибуток  $R$  може бути отриманий сільгосппідприємством. А зменшення експлуатаційних витрат забезпечує збільшення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів внаслідок його оптимізації.

Конкретизація сформульованої мети оптимізації здійснюється з урахуванням умов довкілля, у якій передбачається функціонування підприємства. Ці умови є сукупність граничних умов, що фіксують область значень для параметрів системи комбікормового виробництва та утворюють її технологічних процесів [141]

$$\begin{aligned} & \Delta R(E, H, S_i, S_m) \rightarrow \max, \\ & \text{при } \Delta R \geq 0, \\ & \left\{ \begin{array}{l} E \rightarrow \min, E \geq 0 \\ H \rightarrow \min, H \geq 0 \\ \sum_1^i S_i \rightarrow \min, S_i \geq 0 \\ \sum_1^m S_m \rightarrow \max, S_m \geq 0 \\ P \rightarrow \max, P_{\max} \geq P \geq 0 \end{array} \right. \end{aligned} \quad (3.8)$$

де  $E$  - Експлуатаційні витрати, руб. / Т;

$H$  – накладні витрати, руб./т;

$S$  – вартість виду сировини, руб./т;

$i$  – кількість покупних видів сировини, прим.;

$m$  – кількість власних видів сировини, прим.;

$P$  – поживна цінність комбікорму, к.од.,

$P_{\max}$  – максимально можлива фізіологічно обґрунтована поживна цінність комбікорму

Накладені обмеження є критеріальними, і є приватні критерії оптимальності, що характеризують якість оптимізації системи. Відповідність системи накладеним критеріальним обмеженням означає, що було обрано оптимальний варіант системи, що задовольняє функціональним обмеженням.

Алгоритм приватного етапу проектування (оптимізації) модульного комбікормового підприємства включає елементи: 1 – початок (складання технічного завдання проектування); 2 – введення вихідних даних для проектування (вимоги, які пред'являються замовником до компонування підприємства); 3 - підбір (пошук) готових компонок модульних підприємств; 4 – база даних компонок модульних підприємств; 5 – чи є готове компонування? 6 – оцінювання відібраного компонування за заданими критеріями; 7 – чи приймаємо готове компонування підприємства? 8 – введення вихідних даних для синтезу нового компонування; 9 – синтез нового

компонування модульного підприємства; 10 – база даних (номенклатура) технологічних модулів; 11 – оцінювання нового компонентування за заданими критеріями; 12 – чи приймаємо нове компонентування? 13 – кінець (перехід безпосередньо до проектування модульного підприємства).

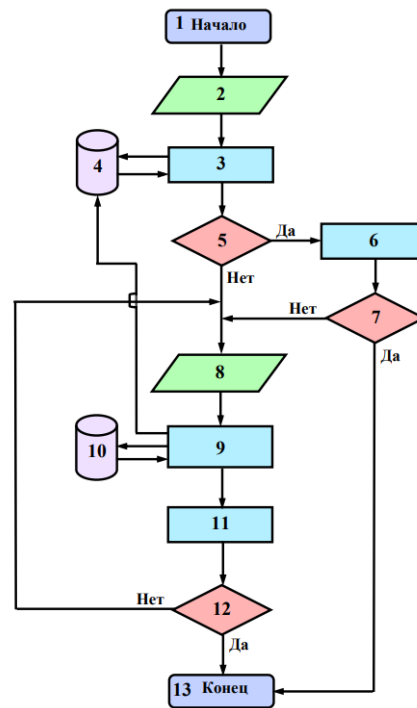


Рисунок 3.4 – Алгоритм приватного етапу проектування (оптимізації) модульного внутрішньогосподарського комбікормового підприємства.

Початковий пункт виконання частки етапу проектування (оптимізації) модульного підприємства – це розробка технічного завдання (елемент 1 алгоритму). Він виконується на основі взаємодії між проектувальником та замовником (сільгосппідприємством), що полягає у формулюванні вимог до складу компонентування (необхідна потужність основного модуля, наявність особливих місцевих видів сировини, технологічні вимоги до операцій підготовки сировини, рівень біобезпеки, необхідність організації виробництва преміксів, БВМК та інших напівфабрикатів, необхідність остаточної обробки комбікорму (гранулювання або екструзування), вимоги до якості готового корму та ін.

Сформовані під час взаємодії (елемент 1) вимоги замовника (сільгосппідприємства) перетворюють на вихідні дані для проектування (оптимізації) модульного підприємства (елемент 2). Потім виконують

попередній підбір (пошук) готових компоновань модульних підприємств (елемент 3), що максимально відповідають цим вимогам, у наявній базі компоновок (елемент 4), з яких вибирають найбільш оптимальну (обґрунтування вибору наведено нижче). 5) виконують остаточну оцінку обраного компоновання на відповідність заданим критеріям (елемент 6).

Після цього приймають рішення про прийняття даної компоновання (елемент 7) і безпосередньо переходять до проектування модульного підприємства (елемент 13). В іншому випадку синтезують нове компоновання модульного підприємства, попередньо формулюючи вихідні дані (елемент 8). Синтез нового компоновання (елемент 9) виконують за допомогою звернення до бази даних (номенклатури) технологічних модулів (елемент 10) та підбору модулів, після чого формують з них структури нового компоновання. Потім виконують оцінювання відповідності нового компоновання заданим критеріям (елемент 11) і приймають рішення про прийняття нового компоновання (елемент 12). Після цього безпосередньо переходять до проектування внутрішньогосподарського модульного підприємства (елемент 13)

Оптимізацію (проектування) модульного внутрішньогосподарського підприємства, що включає синтез компоновок та підбір найбільш раціональної з них, виконують як шляхом техніко-економічного аналізу, так і на основі технологічного підходу.

Технологічний підхід до оптимізації полягає у синтезі технологічного процесу (поток) приготування комбікорму за алгоритмом оптимізації структури модульного внутрішньогосподарського комбікормового підприємства (рисунок 3.8). Цільовий функцією у разі є підвищення рівня цілісності  $\Theta$  технологічної системи з урахуванням стабільності технологічних процесів складових її підсистем (модулів)  $\eta_i$ , тобто. стабільності прийнятих показників якості здійснення технологічного процесу:

$$\Theta(\eta_1 \dots \eta_i) \rightarrow 1, \text{ при } 1 \geq \eta \geq 0, \Theta \leq 1 . \quad (3.9)$$

Ці обмеження є функціональні, тобто. мають значення для оцінки вірності функціонування системи, що оптимізується.

Технологічний підхід до оптимізації передбачає, що на рівні підсистеми (модуля) цільовою функцією є збільшення стабільності технологічного процесу за прийнятним показником якості готового продукту на її виході  $\eta \rightarrow 1$ , а для рівня системи (компонування модульного підприємства) цільовою функцією є цілісність технологічної системи  $\Theta \rightarrow 1$ .

Збільшення рівня цілісності  $\Theta$  технологічної системи виробництва комбікорму порівняно з вихідною (існуючою) системою означає досягнення (в поняттях технологічного підходу) поставленої мети. Такий результат зазвичай отримують з допомогою оптимізації технологічних операцій, їх заміни більш досконалі чи введення додаткових операцій. Але ці заходи, підвищуючи якість комбікорму, можуть збільшити його собівартість, скоротивши цим прибуток сільгоспідприємства.

Тому запропоновані заходи щодо оптимізації системи приготування комбікорму потім мають бути оцінені за методикою технікоеконічного аналізу на відповідність вимогам, вираженим економічними обмеженнями (3.8). Очевидно, що критерієм ефективності введення в технологічний процес нових або оптимізованих операцій є перевищення доходу, одержуваного за рахунок збільшення продуктивності тварин при підвищенні поживної цінності комбікормів над величиною збільшення собівартості їх приготування.

При оптимізації внутрішньогосподарського комбікормового виробництва є дві цільові функції (критерії оптимальності): збільшення прибутку  $\Delta R$  (3.8), що показує ефективність виробництва, та підвищення рівня цілісності системи  $\Theta$  (3.9), що показує якість функціонування технологічного процесу. Вектори цих функцій найчастіше різноспрямовані, тобто. технічні та технологічні рішення, що призводять до зниження собівартості комбікорму та підвищення прибутковості сільгоспідприємства, часто викликають зниження якості та поживної цінності корму, і навпаки. Тому проектувальнику модульного підприємства разом із замовником потрібно знаходити компромісні збалансовані рішення.

Встановлено, що завдання оптимізації структури модульного комбікормового підприємства є двокритеріальним. У цьому критерії оптимальності є різнорідними: одне із них характеризує якість виконання технологічного процесу, а другий – економічну ефективність виробничого процесу. Визначення оптимальної для даного модульного підприємства структури (компонування) зроблено за принципом Еджворта-Парето, згідно з яким можливі рішення знаходять серед варіантів, що принципово не поліпшуються, тобто. таких варіантів, покращення яких за одними критеріями викликає погіршення за іншими критеріями. Остаточний вибір виконують на базі переваг особи, яка приймає рішення (ЛПР), яким у цій ситуації спільно є замовник та проектувальник модульного підприємства. Зазвичай перевагами замовника (сільгоспідприємства) є вимоги до складу і якості комбікормів. Перевагами проектувальника є вимоги до оптимальності структури виробничого процесу, що впливають на якість виконання технологічного процесу.

Математична модель, що описує процес оптимізації структури внутрішньогосподарського модульного комбікормового підприємства, має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta R(E, H, S_i, S_m) &\rightarrow \max \quad U \quad \Theta(\eta_1 \dots \eta_i) \rightarrow 1, \\ \text{при } \Delta R &\geq 0, \quad \text{при } 1 \geq \eta \geq 0, \quad \Theta \leq 1 \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E \rightarrow \min, E \geq 0 \\ H \rightarrow \min, H \geq 0 \\ \sum_1^i S_i \rightarrow \min, S_i \geq 0 \\ \sum_1^m S_m \rightarrow \max, S_m \geq 0 \\ P \rightarrow \max, P_{\max} \geq P \geq 0 \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Для вирішення цієї задачі оптимізації потрібно виділити з безлічі можливих рішень область (множина Парето) допустимих (ефективних) рішень (варіантів компонування), що задовольняють критеріям оптимізації.

Найзручніше вирішити це завдання графічно, навіщо потрібно побудувати графіки, показують залежність обраних критеріїв оптимізації від загальної змінної, основі яких виконується графічне відображення області можливих рішень [13]. Як така змінна нами була прийнята величина  $P$  – поживної цінності комбікорму. Графічне відображення безлічі можливих рішень показано рисунку 3.10.

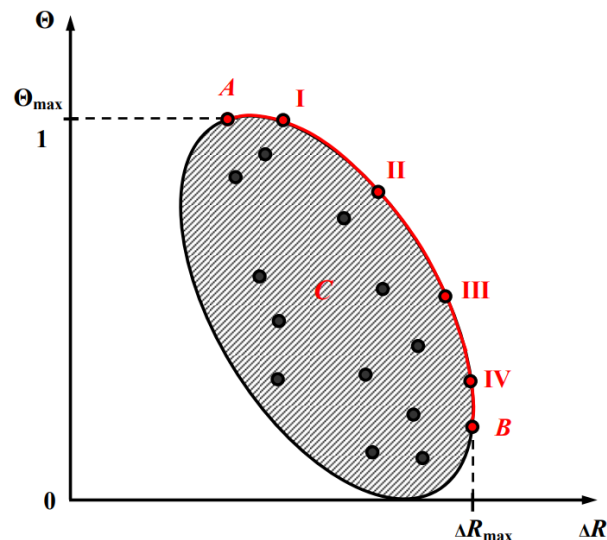


Рисунок 3.10 – Безліч можливих та допустимих розв'язків задачі оптимізації структури (компонування) модульного підприємства

На наведеному графіку позначена штрихуванням область є областю можливих рішень. Але область допустимих (паретооптимальних) рішень є на графіку криву АВ. Паретооптимальне розв'язання задачі оптимізації – це таке допустиме рішення, яке не може бути покращене за одним із критеріїв без погіршення за іншим критерієм [13]. Розв'язання задачі оптимізації для цього випадку є варіантами компонентування модульного підприємства, тому вони дискретні і являють собою точку або набір точок, всередині області допустимих рішень. На Рисунку 3.10 це точки I – IV на кривій АВ

Слід враховувати, що віддаючи перевагу одне парето-оптимальне рішення іншому, ЛПР обирає компромісне рішення, враховуючи втрати за одним критерієм і приріст за іншим, тобто. діє відповідно до стратегії компенсації.

Таким чином, ухвалюючи рішення про прийняття варіанта компонентування, ЛПР потрібно виконати експертну оцінку того, наскільки підвищення значення



одного критерію компенсує зниження значення іншого. Для полегшення процесу прийняття рішення потрібно визначити, який із двох критеріїв важливіший. Для внутрішньогосподарського модульного виробництва наразі важливішим є економічний критерій, тобто. величина прибутку сільгосп підприємства:  $\Delta R \ominus$ . Але його важливість відносна, тому що рівень організації технологічного процесу має залишитися у певному діапазоні, що гарантує випуск якісного комбікорму. Важливість критерію  $\Delta R$  щодо критерію  $\ominus$  зручно виразити чисельним співвідношенням. В результаті досліджень встановлено, що коефіцієнт відносної важливості критерію  $R$  відносно критерію  $\ominus$  становить  $GR/\ominus = 0,6$ . Таким чином, переваги ЛПП виражаються не тільки якісно, а й кількісно, що значно полегшує підбір варіанта компонування модульного підприємства та забезпечує його оптимальність

## ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ

1. В якості основи для аналізу та синтезу системи внутрішньогосподарського виробництва комбікормів потрібно прийняти принципи блочно-модульного побудови виробництва та методичний підхід, що полягає у виділенні з технологічної системи базових структурних підсистем у формі блоків, що формують технологічні лінії (модулі) за ознакою виду оброблюваної сировини та (або ) виду його обробки.

2. Завдання оптимізації структури модульного комбікормового підприємства є двокритеріальним з різнорідними критеріями оптимальності, один із яких характеризує якість виконання технологічного процесу, а інший – економічну ефективність виробничого процесу. У цьому вибір оптимальної для конкретного модульного підприємства структури (компонування) здійснюють за принципом Еджворта Парето, тобто. можливі рішення знаходять серед принципово не покращуваних варіантів.

## 4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Методика експериментальних досліджень

#### 4.1.1. Методика визначення техніко-експлуатаційних показників мобільного агрегату для подрібнення, змішування та видачі комбікорму

Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів мобільного агрегату для подрібнення, змішування та видачі комбікорму експериментальні дослідження було проведено за визначенням основних показників, що характеризують якість виконання процесу – ступінь подрібнення зернової сировини, нерівномірність змішування компонентів, нерівномірність видачі по фронту годівлі та енергоємності цих процесів.

Нерівномірність змішування кормів у виробничих умовах оцінювали за загальноприйнятою методикою, що передбачає внесення до бункеру контрольного компонента (забарвленого харчовим барвником пшона, як найбільш близького за розміром гранули до комбікорму) у кількості 1% від завантаженої маси, відбір проб з маси приготовленої суміші та визначення вмісту контроль компонента у кожній. Проби відбирали безпосередньо з вивантажувального лотка з таким інтервалом, щоб при вивантаженні кожної приготованої порції можна було відібрати не менше 5 проб масою 50 г. При дослідженні змішування зонами проби відбирали з бункера зерновим пробовідбірником. Кількість порцій обирали згідно з наступною методологією. Попередні дослідження показали, що розподіл частинок контрольного компонента в зразку на рівні значущості 0,01-0,03 (для сипучих сумішей) можна описати нормальним законом розподілу. Тоді, на підставі виразів визначення довірчих інтервалів визначимо мінімальну кількість вибірок [17]:

$$n \geq \frac{t_{\gamma,n}^2 \sigma_c^2}{\varepsilon^2}, \quad (4.1)$$

де  $t_{\gamma,n}$  - критичне значення розподілу Стюдента;

$u_c$  - задається нерівномірність;

$\varepsilon$  – відносна помилка.

При рівні значущості  $t_{\gamma,n} = 0,10$ , помилці визначення контрольного компонента  $\varepsilon = 7,5\%$  та значення  $u_c$  дорівнює 20%, кількість порцій становить не менше  $n = 10$  шт.

У лабораторних умовах визначення характерних зон змішувача контрольним інгредієнтом щодо нерівномірності змішування використовувалася подрібнена кухонна сіль. Її розподіл визначали, відбираючи по 20 проб масою 50 г кожна з різних точок змішувальної камери на різних етапах змішування. Відбір кожної проби проводився згідно з ДСТУ 13496.0-80. Масовий вміст сухого контрольного компонента (кухонної солі) у пробі визначали іонометричним методом за ДСТУ 13496.1-98. Нерівномірність змішування оцінювали значенням коефіцієнта варіації фактичного розподілу контрольного компонента в пробах  $v$ , %.

Процес видачі комбікорму тваринам на кормовий стіл характеризували загальноприйнятими показниками: масовою подачею та нерівномірністю роздачі, що визначаються згідно зі стандартними методиками. Для цього агрегат на постійній швидкості з фіксованим рівнем відкриття заслінки виробляв видачу корму в листи розміром 1x1 м (або замість нього чотири 0,5x0,5м), встановлені впритул один з одним на горизонтальному майданчику. Кількість дек приймали відповідно не менше 10 шт. Продуктивність на видачі визначали за масою ссипаного лотком на лист корму при різних швидкостях руху трактора в діапазоні 2-5 м/с. Коефіцієнт варіації визначався за загальноприйнятою методикою [12]. Нерівномірність роздачі та відповідність нормі видачі корму визначалися масою порцій, взятих із кожного з 10 метрових дек (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Досліди щодо визначення нерівномірності видачі  
концкормів

Потужність, потрібна на привід роздавача, на першому етапі досліджень визначалася по гідросистемі трактора

$$N = \frac{Q\Delta P}{612\eta_t} \quad (4.2)$$

де  $Q$  – подача олії до гідромотора, л/хв.;

$\Delta P$  – різниця тисків у нагнітальній та відвідній магістралі, кгс/см<sup>2</sup>;

$\eta_t$  – коефіцієнт корисної дії

$$\eta_t = \eta_x \cdot \eta_{mh}, \quad (4.3)$$

де  $\eta_x$  - ККД об'ємний;

$\eta_{mh}$  – гідромеханічний ККД.

Витрата та тиск олії в системі визначали за допомогою дроселя - витратоміра.

На наступному етапі досліджень, точніше, потужність визначали вимірюванням крутного моменту на валу змішувача за допомогою перехідної тензобалки. При цьому деформаційні опори тензомоста перетворювали нормуючим перетворювачем ТДА-6 в напругу, яка записувалася цифровий масив на ПК через аналого-цифровий перетворювач ЛА-70М4.

При цьому велася реєстрація часу напівобороту валу, яке відповідало числу опитувань каналу АЦП, помноженого на період опитування каналу, що задається програмою реєстрацій. Число опитувань каналу, відповідного напівобороту валу, визначалося від початку до кінця стрибка напруги, що подається в АЦП від гальванічного елемента через геркон.

На дробарці з приводом від ВОМ трактора показники потужності визначали також через моменти, що крутять, на їх валах за допомогою тензодатчиків. Фіксацію моментів, що крутять, вели самописцем Н 338-3.

Експериментальні дослідження з оцінки енергоємності та якості змішування проводили на лабораторній установці – похилий одновальний шнековий змішувач концентрованих кормів періодичної дії АКМ-3 із місткістю бункера 2,5 м<sup>3</sup>. Частоту обертання валу змішувача змінювали частотним перетворювачем DELTA VFd-075E шляхом зміни частоти асинхронного струму електродвигуна АИР100L4. Експериментальна установка та комплекс вимірювальної апаратури представлений на Рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Експериментальне встановлення та комплекс вимірювальної апаратури

Кут нахилу бункера до горизонту змінювали шляхом зміни довжини штанги упору змішувача в діапазоні 20-45°. Питому енергоємність

безпосередньо процесу сумішоутворення Вуд визначали як загальну енергоємність, що вимірюється за допомогою перерахунку на ПК запису показань частотного перетворювача за силою струму (А) (рисунок 4.3), віднесену до маси кормосуміші.

Визначення техніко-експлуатаційних показників роботи мобільного комбікормового агрегату при випробуваннях у виробничих умовах проводили відповідно до стандартної програми та методів випробувань машин та обладнання для приготування кормів ОСТ 70.19.2-83.

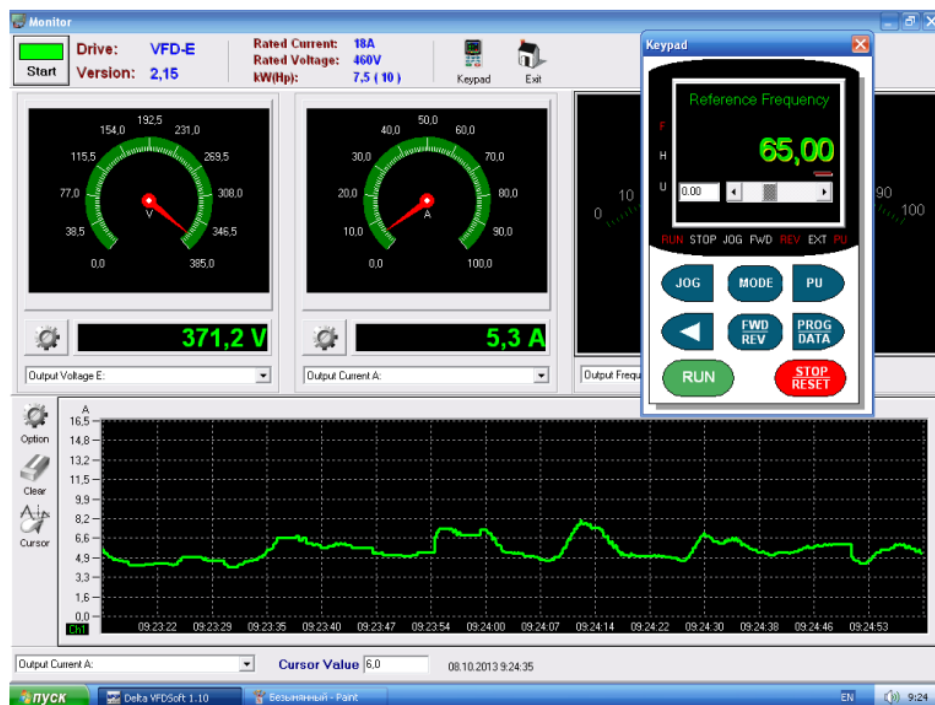


Рисунок 4.3 – Інтерфейс DELTA VFD-075E

#### 4.1.2. Методика визначення основних конструктивно-технологічних параметрів обладнання для введення в комбікорм рідких інгредієнтів з метою знезараження та збагачення

Якісні показники процесу змішування при введенні в комбікорм рідких інгредієнтів оцінювалися відомими методами внесення контрольного інгредієнта (дрібне насіння, пофарбоване пшоно) та енергетичні - за записом показань частотного перетворювача DELTA VFD-075E за силою струму і напругою з погрішкою.

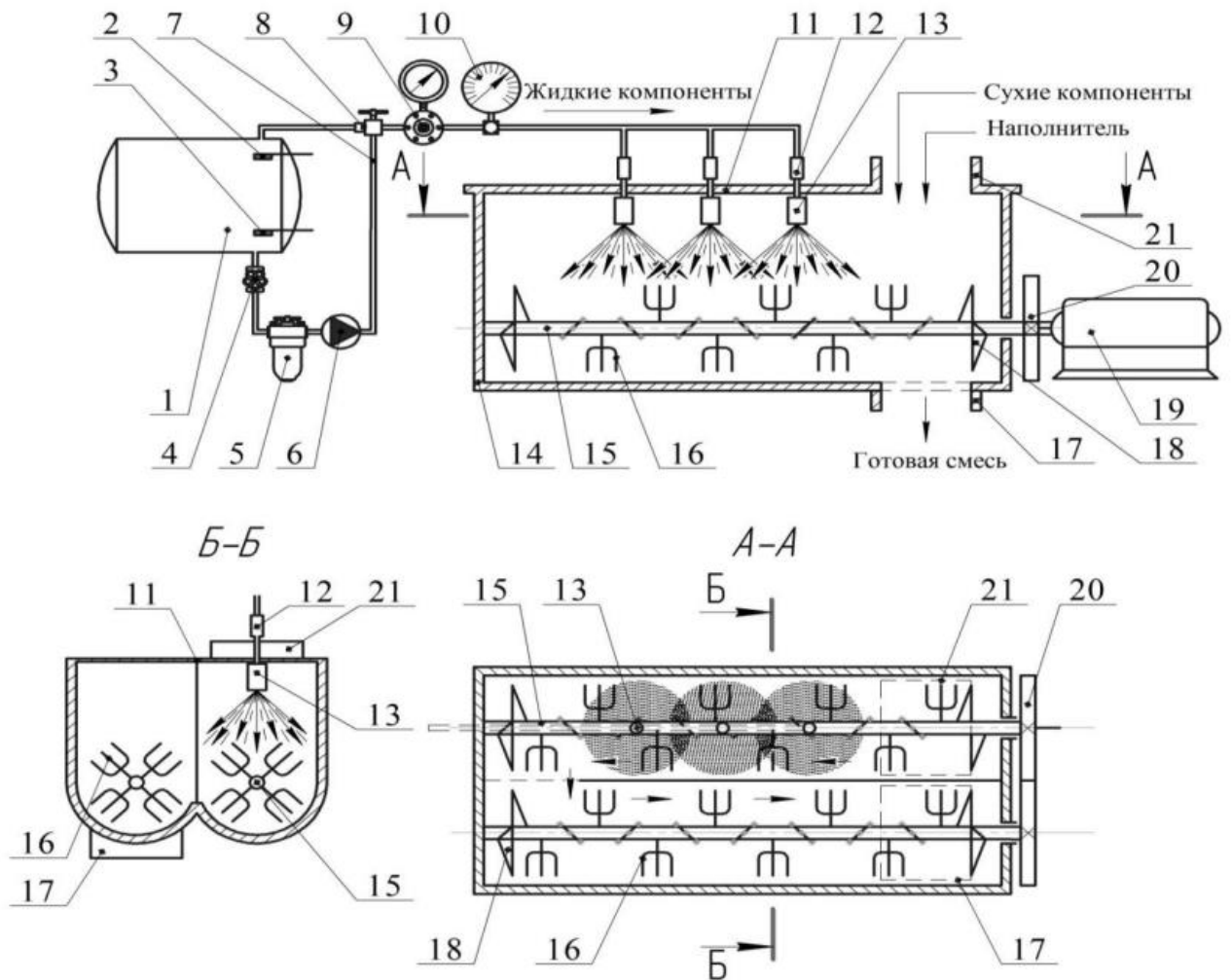
При цьому, враховуючи зовсім різні реологічні властивості матеріалів, що змішуються (сипкі і рідкі одно-і багатокомпонентні) була виявлена необхідність у розробці приватних методик дослідження для уточнення фізико-механічних властивості сухих і реологічних рідких інгредієнтів комбікорму, а також розробки найбільш точних способів оцінки суміші.

Для експериментального підтвердження теоретичних положень сумішоутворення сипких та рідких компонентів комбікорму виготовлено лабораторну установку (рисунок 4.4), функціональна схема якої представлена на Рисуноку 4.5.



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд експериментальної установки для дослідження сумішоутворення сипких та рідких інгредієнтів

Змішувальна камера являє собою горизонтальний бункер і включає корпус 14 з кришкою 11, в якій вварено завантажувальне вікно для сипучих інгредієнтів 21, знизу корпусу по другому контурі розкладено розвантажувальне вікно 17. У корпусі 14 встановлені вали 15 з 16. На кінцях валів і біля торцевих стінок по ходу руху наварені витки шнека із зворотним навивкою 18.



- 1 – видаткова ємність; 2,3 – датчик контролю верхнього та нижнього рівня рідини; 4 – кран запірний; 5 -фільтр сітковий; 6 – гвинтовий насос;  
 7 – рідинна магістраль; 8 – редукційний клапан; 9 – витратомір;  
 10 – манометр; 11 – кришка змішувача; 12 - дроселі; 13 – форсунки;  
 14 – корпус змішувача; 15 - вал; 16 – вилкові робочі органи;  
 17 – розвантажувальне вікно; 18 - витки шнека зворотного навивки;  
 19 – електродвигун; 20 - шестерня передача;

Рисунок 4.5 – Схема функціонування експериментальної установки

Факельні патрубки 13 для подачі рідких добавок встановлені в кришці змішувача 11 і розташовані уздовж валу 15 з боку вікна завантаження сухих компонентів. Безпосередньо перед форсунками можуть бути встановлені дроселі 12 для вирівнювання тиску та регулювання їхньої продуктивності. У досліді тиск встановлювалося на магістралі.



У ході виконання дослідження фіксувалися наступні параметри: кут установки вилчастих лопатей щодо валів становив  $45^\circ$ ; тиск у розподільчій магістралі – 0,3 МПа.

При оптимізації параметрів та режимів роботи установки необхідно виконати аналіз впливу великої кількості факторів. Оцінити на досвіді всі можливі поєднання факторів дуже важко. Тому визначення оптимального поєднання чинників з допомогою мінімально можливої кількості дослідів був застосований метод математичного планування експерименту.

#### **4.1.2.1 Приватна методика визначення властивостей рідини, що вноситься (олії та масловодної емульсії)**

Технологічний та науковий інтерес представляв розподіл норми внесення однією відцентровою конусною форсункою по певній площі. Дані необхідні для побудови її функціональної математичної моделі. Система подачі рідини з однією форсункою встановлювалася на рівній площадці порівнянної з розмірами габаритними змішувача кормів на відповідній висоті. Передбачається захист від випадкових бічних потоків повітря. За розрахунковим радіусом плями розпилу (форсунка розташована строго вертикально щодо майданчика) встановлювали з кроком 0,02 м дощоміри. Визначався шар рідини в точці кожного дощоміру за формулою:

$$h = \frac{V}{S_d}, \quad (4.5)$$

де  $V$  – об'єм рідини в дощомірі, внесений під час досліду, мм<sup>3</sup>;

$S_d$  – приймальна площа дощоміру, мм<sup>2</sup>.

Отже інтенсивність у тих самих точках можна визначити:

$$I = \frac{h}{t} = \frac{V}{S_d \cdot t}, \quad (4.6)$$

За допомогою крана-регулятора встановлюється необхідний тиск та вмикається подача.

Була прийнята тривалість досвіду 300 секунд. Під час досвіду тиск у магістралі, що подає, підтримувалося на одному рівні  $p=4$  атм і при необхідності велося коригування. Після вимкнення подачі відмірявся обсяг рідини в дощомірах і перевірялася рідинним рівнем вертикальність її встановлення.

#### 4.1.2.3 Приватна методика визначення рівномірності розподілу жирової складової емульсії за обсягом суміші

При завершенні процесу змішування до 2 хв після введення емульсії згідно з нормою введення відбирали 20 проб. Наважки масою  $1\div 2$  г поміщали у спеціальну гільзу з фільтрувального паперу, і витримували в сушильній шафі при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  не менше 150 хвилин. Після закінчення висушування бюкс з пакетиками закривали кришкою, охолоджували в закритій ємності і зважували з точністю до 0.001 р. Після охолодження проби поміщалися в апарат Сокслета і заливаються розчинником (гексаном). Екстрагування проводили відповідно до ДСТУ Р 53153-2008 (ІСО 734-1:2006). Після вилучення з екстрактора проби витримуються у витяжній шафі до 30 хвилин для видалення ефіру та зважували. Вміст жиру ( $x$ ) обчислювали за такою формулою:

$$x = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m}, \quad (4.7)$$

де  $m$  – маса навішування, г

$m_1$  – маса проби до екстрагування, г

$m_2$  – маса проби після екстрагування, г.

Рівномірність розподілу жирової фази за обсягом суміші визначали за формулою:

$$V_c = \frac{\sigma \cdot 100}{c}, \% \quad (4.8)$$

Де  $c$  - середня концентрація ключового компонента в пробах;

$\sigma$  - середньоквадратичне відхилення концентрації ключового компонента в пробах

#### **4.2. Методика лабораторних досліджень щодо обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв сушіння вегетативної рослинної маси з використанням енергії НВЧ**

Відомо, що сушіння – це найпоширеніший спосіб підготовки рослинних матеріалів до тривалого зберігання. Проте, процес досушування матеріалу до кондиційної досить тривалий і енергоємний, оскільки переважна більшість корисних речовин рослинних тканин відрізняються низькою термічною стійкістю [4]. Інтенсифікувати процес сушіння рослинної маси дозволяє використання НВЧ-випромінювання.

Вплив поля НВЧ на оброблювані матеріали, зокрема рослинні, насамперед проявляється у тому діелектричному нагріві. Його інтенсивність пов'язана тут у першу чергу з наявністю в сировині полярних молекул, наприклад води, з режимними параметрами електромагнітного поля (енергія і частота), фізичними властивостями матеріалу, що обробляється (щільність, шпаруватість) і конструктивними особливостями пристроїв подачі в оброблювану сировину НВЧ-енергії.

Для вибору раціональних режимів роботи установки НВЧ-вакуумної сушіння та її масштабування для використання в промисловості є потреба в математичному описі процесів. Однак безліч факторів, що варіюються, більшість з яких важко оцінити аналітично, призводить до необхідності проведення експериментальних досліджень з динаміки мікрохвильового нагріву досліджуваних матеріалів і відповідності необхідному діапазону їх властивостей. До досліджуваних матеріалів відноситься подрібнена з деяким розміром частинок листостебельна маса бобових трав (у досліді люцерна) вологістю від 85 до 10%.

Діелектричні властивості зеленої маси люцерни досить повно наведені в дослідженнях Shrestha V. L. [9] і фактично можуть бути прийняті за основу розробки обладнання. Дослідження ж з динаміки НВЧ-нагріву і відведення випареної вологи з вегетативної макористованої при виробництві трав'яного

різання і борошна, в достатньому обсязі раніше не проводилися, оскільки переважно залежать від конструктивних особливостей сушильного обладнання, що застосовується. Тому дані, необхідні для розрахунків при обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів процесу сушіння трав'яного різання з використанням НВЧ-енергії, можуть бути одержані експериментально.

Основним показником, що характеризує якість трав'яного борошна, прийнято вважати вміст у ньому каротину ( $\beta$ -carotene), досить нестійкої хімічної речовини [14, 16]. Воно насамперед визначається саме вмістом їх у вегетативної частини рослини, переважно листової, і навіть ефективністю технології його консервації та її подальшого зберігання продукту. Фактори, що визначають втрати каротину при традиційній технології виробництва трав'яного борошна, досить добре вивчені [14] та їх критичний поопераційний аналіз може стати основою для технології вологознімання, що розробляється з використанням інтенсивного НВЧ-впливу. Однак вплив додаткового мікрохвильового випромінювання при процесі виробництва трав'яного борошна на якісні показники продукту при тривалому зберіганні вивчено недостатньо, що вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень.

Для дослідження інтенсивності сушіння з використанням НВЧизлучення виготовлено лабораторну установку (Рисунок 4.6) камерного типу у складі наступного обладнання: мікрохвильова піч MYSTERY з магнетроном частотою 2450 Гц, обладнана системою притяжно-витяжної подачі повітря у вигляді вентилятора (200 м<sup>3</sup> ; Вт) та вакуумного насоса ВВН 1-0,75 (P = 2,2 кВт; n = 1500 об/хв). Для вимірювань також застосовували пірометр INFRARED THERMOMETER (-500С÷5500С), секундомір та вакуумметр.

Піддаючись сушці зелена вегетативна маса, що зазнала сушіння, попередньо подрібнювалася до частинок з розмірами не більше 20 мм.

Для виключення підвищення температури вище критичного значення та оперативного відведення пари продув матеріалу, що висушується, здійснювався повітрям кімнатної температури (20-220С)



Рисунок 4.6 – Лабораторне встановлення камерного типу

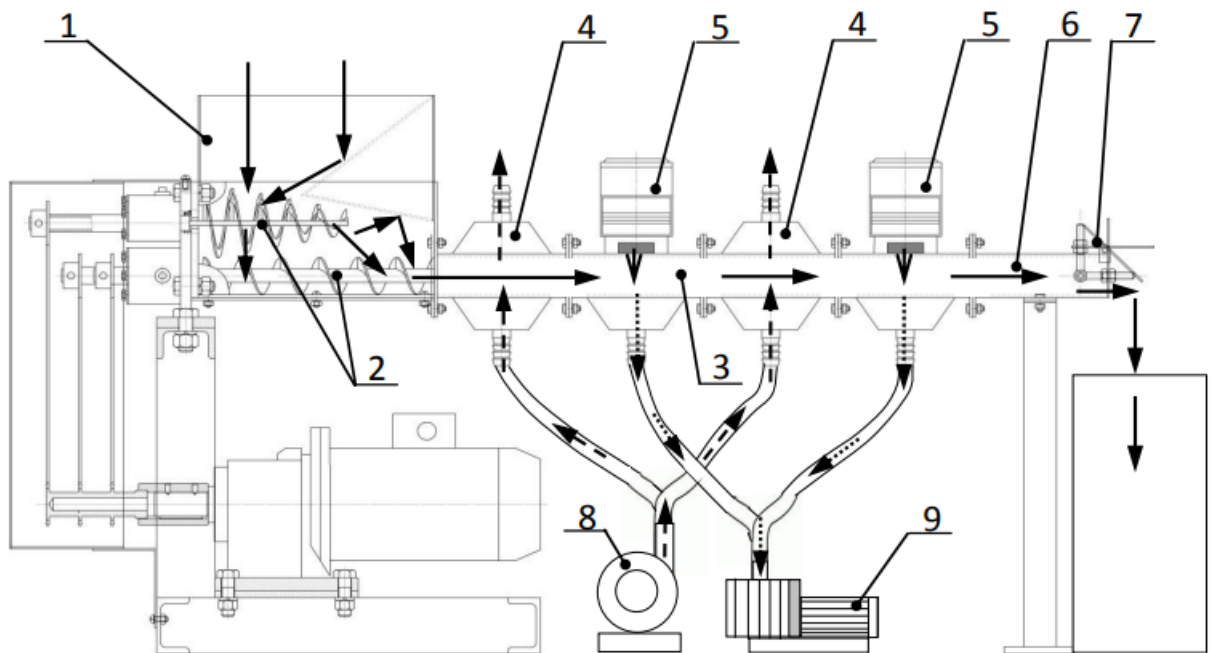
Аналіз попередніх даних показав, що при використанні мікрохвильової сушіння з одночасним продуванням зеленої маси, зниження волоДСТУі відбувається досить повільно. Це тим, що продув зеленої маси повітрям кімнатної температури для відведення виділеної вологи призводить також до охолодження матеріалу, що висушується, через що виділення вологи з капілярів відбувається не досить швидко.

Результати проведених попередніх досліджень показали, що використання способу сушіння з комбінацією НВЧ-нагріву і вакуумного відведення вологи, що виділяється, з зеленої маси найбільш ефективний в порівнянні з іншими варіантами. Ці ж дослідження в установці камерного типу виявили недостатню інтенсивність підведення матеріалу НВЧ енергії.

Для отримання інтенсивного впливу НВЧ-випромінювання на вологу рослинну масу доцільно застосувати установку з хвилеводною камерою з поздовжнім рухом матеріалу, що обробляється [19]. Характерна відмінність хвилеводних камер прохідного типу від резонаторних полягає в тому, що в хвилеводі практично не спостерігаються інтерференційні хвильові і дифракційні явища, тобто енергія дисипується в матеріалі з мінімальними втратами. Також така конструкція дає можливість організувати процес обробки як періодичному, і безперервному режимі [21]. Можливість використання зниженого тиску в камері для прискорення відведення вологи, що випаровується, дає можливість

додатково підвищити ефективність процесу сушіння. Оскільки забезпечення розрядження в камері знижує температуру кипіння води на поверхні оброблюваного матеріалу, то цим дозволяє додатково зберегти термічно нестійкі речовини в готовому продукті, в тому числі  $\beta$ -каротин.

Сукупність проведених аналітичних та експериментальних досліджень дозволила розробити схему встановлення НВЧ сушіння хвильоводного типу безперервної дії (рисунок 4.6) [13].



1 – завантажувальний бункер; 2 - шнеки, що подають; 3 – хвильоводна сушильна камера; 4 – модуль продування маси; 5 – модуль НВЧ-нагріву; 6 – модуль регулювання підпору; 7 – регулююча заслінка; 8 – вентилятор; 9 – вакуумний насос

Рисунок 4.6 – Сушильна установка

Частина модуля НВЧ-нагріву установки через пористу поверхню з'єднаний із системою вакуумного вологовідведення. При роботі установки завдяки створюваному шнеками завантажувального бункера підпору попередньо подрібнена рослинна маса рухається сушильною камерою, поперемінно піддаючись впливу енергії НВЧ магнетрона і продувки повітрям. Тиск підпору при цьому регулюється ступенем відкриття заслінки та зміною частоти обертання шнеків подачі.

В ході експериментальних досліджень додатково застосовувалися такі прилади та обладнання для контролю параметрів процесу сушіння: тепловізор SEEK THERMAL COMPACT XR (роздільна здатність 208x156, частота оновлення 9 Гц, кут огляду 20 град), прилад визначення НВЧ витоків та частотний перетворювач для зміни швидкості обертання шнеків. Його застосування дозволяло змінювати подачу зеленої маси в сушильну камеру. Сушіння здійснювалося при постійній вихідній потужності НВЧгенератора 800 Вт при частоті випромінювання 2450 МГц. У модулях НВЧ-нагріву сушильної камери забезпечувалося знижений атмосферний тиск до 80 кПа.

При виготовленні та збиранні лабораторної установки (рисунок 4.7) були додані деякі деталі для найбільш стійкої роботи. А саме: вакуумний колектор, фільтр у вакуумну систему для запобігання попаданню частинок люцерни у вакуумний насос, систему охолодження магнетронів та сталеву сітку з розміром комірки 1 мм для захисту персоналу від НВЧ випромінювання.



1 – вакуумний колектор; 2 – фільтр для очищення пари; 3 – сітка захисна від НВЧ випромінювання; 4 – система охолодження магнетронів.

Рисунок 4.7 - Установка для НВЧ сушіння хвилеводного типу

**4.4. Методика лабораторних досліджень щодо обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів пристроїв сушіння вегетативної рослинної маси конвекцією**

Проведені дослідження показали, що початковому етапі зневоднення вегетативної рослинної маси, при якому значна частина вологи зосереджена на поверхні частинок матеріалу, що висушується, найбільш прийнятна сушіння пров'ялюванням у валках або активним вентиляванням не підігрітим (або підігрітим на 3-5°C) повітрям. При сировині від 80 до 60% через інтенсивне паровиділення масу складно сушити і хвилеводних НВЧ установках.

Інша особливість мікрохвильової сушіння подрібнених трав полягає в явищі так званого «теплого пробою» на заключних етапах зневоднення. При низьких концентраціях води (менше 25%) у матеріалі температура вже не підтримується поглинанням енергії при фазовому переході води в пару через нестачу води та низьку швидкість її руху по капілярах, а отже йде його вибухове нагрівання, аж до займання. У резонаторних камерах побутових мікрохвильових печей є можливість періодичного відключення магнетрону, що дає деякий час на перерозподіл вологи, в конвеєрних ж НВЧ-установках боротьба з загорянням втілюється в необхідність організації складних систем контролю та регулювання значно знижують позитивний конвеєрний ефект.

Тому на заключних етапах сушіння можна відоме конвективне сушіння з використанням високотемпературних сушильних агентів. Основною перевагою яких є простота організації процесу, безпека для персоналу та досить висока продуктивність. Проте аналіз роботи широко застосовуваних раніше сушильних агрегатів типу АВМ показав, що технологічний процес сушіння в потоці теплоносія характеризується високими витратами енергії та відповідно витратою рідкого палива чи газу. Спроби організації рекуперації тепла зіткнулися з високою ресурсо та металомісткістю проектів. На сучасному етапі рішенням можуть служити низькотемпературні сушарки із застосуванням підходів, що максимально інтенсифікують процеси вологовіддачі від сировини, що висушується, з прийнятними енерговитратами.

Проведений аналіз результатів досліджень [21] показав, що інтенсивність сушіння рослинних матеріалів визначається переважно двома факторами: температурою і швидкістю сушильного агента в камері і питомим



навантаженням сировини, що піддається сушінню на повітророзподільні грати. При цьому інтенсифікація процесу вологовіддачі матеріалом, що висушується, найбільш реальна тільки зі збільшення поверхні контакту його частинок з теплоносієм. Можливість використання стійкого активного гідродинамічного режиму вирішує цю проблему. Однак згідно з раніше виконаними дослідженнями [23] було встановлено, що реалізація його на практиці в сушарках відомих конструкцій досить скрутна. Зумовлено це високою неоднорідністю гранулометричного складу сировини (відмінна щільність стеблової та листової частин рослин і відповідно різні швидкості витання в потоці), схильністю до нерівномірного розподілу матеріалу на решітці та утворення конгломератів (переплетена маса стебел та листя). Внаслідок цього, в місцях найменшого опору шару матеріалу потоку теплоносія утворюються воронки (кратери), з яких вузьким струменем виривається теплоносій з невеликою кількістю частинок матеріалу, що висушується, а навколо утворюється кільцевий малорухливий щільний шар. Концентрація висушуваного матеріалу у вузькому струмені мала, а витрата теплоносія висока. Організувати стійкий зважений шар матеріалу у камерах циліндричного типу важко. Тому доцільним є рішення забезпечити примусову активацію шару матеріалу в камері, постійно здійснювати перерозподіл його по перерізу, і як наслідок, більш ефективно використання енергії теплоносія.

Параметрами, що визначають сушіння рослинного матеріалу в камері конічно-циліндричної форми, були:

- продуктивність сушарки по випареній волозі, віднесена до  $1 \text{ м}^2$  повітророзподільної решітки,  $M$ ,  $\text{кг/год} \cdot \text{м}^2$ ;
- витрата енергії на  $1 \text{ кг}$  випареної вологи,  $N$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$ ;
- швидкість сушіння,  $J$ ,  $\%/\text{год}$

Контролем вважалася кондиційна вологість висушеної сировини.

Факторами, що фактично оцінюють процес сушіння матеріалу в камері, були прийняті:

- часова витрата сушильного агента,  $L$ ,  $\text{м}^3 / \text{год}$ ;

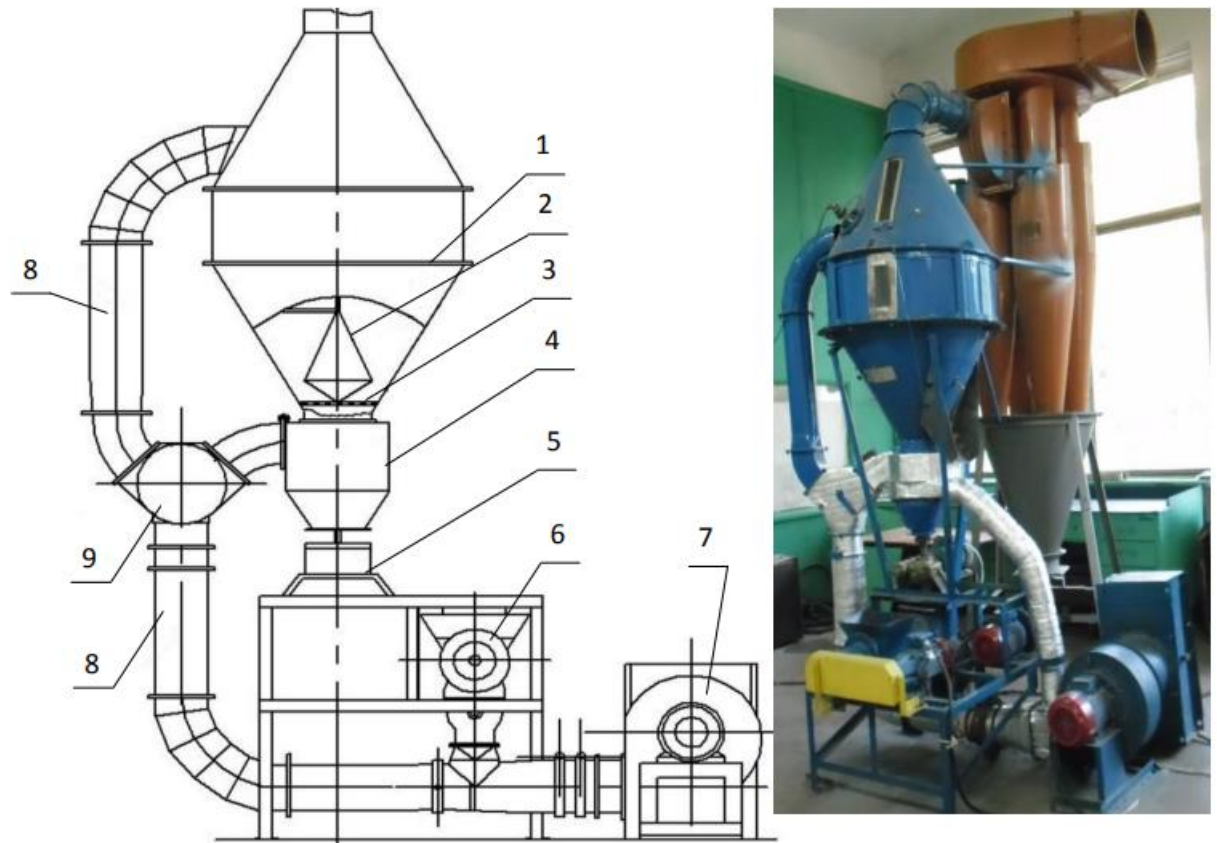
- питоме навантаження матеріалу, що висушується на повітророзподільну решітку,  $K$ , кг/м<sup>2</sup>;

- частота обертання валу активатора,  $n$ , хв<sup>-1</sup>.

Методика проведення досліджень з конвективного сушіння рослинної вегетативної маси полягала в наступному. Масу попередньо подрібнювали до розмірів не більше 20 мм і формували навішування, що відповідає необхідній величині питомого навантаження на розподільну решітку. За допомогою калорифера, вентилятора та повітряних заслін задавали необхідну годинну витрату сушильного агента в камері. Після закінчення прогріву камери при встановленій температурі сушильного агента на виході з калорифера в камеру завантажували підготовлену навішування матеріалу, потік теплоносія перемикали на вхід в сушильну камеру і починали процес сушіння. Тривалість дослідів становила 30 хвилин. Протягом досвіду регулярно (через кожні 5 хвилин) реєстрували температуру сушильного агента на вході в шар матеріалу і на виході з сушильної камери, температуру сухої та вологої термопар, і перепад тиску в камері. Після закінчення досвіду вивантажували масу з осаджувального циклону та сушильної камери, зважували її та відбирали зразки для аналізу на вологість. Вологість визначалася за ДСТУ Р 54951-2012. З отриманих даних розраховували параметри процесу сушіння. Енерговитрати при цьому, розраховували за кількістю тепла, переданого матеріалу, що висушується, від сушильного агента за обліковий період.

Лабораторна установка (рисунок 4.8) включала сушильну камеру конічно-циліндричної форми об'ємом 0,22 м<sup>3</sup> 1 з розміщеними в ній повітророзподільною решіткою 3 і активатором 2, стабілізатор потоку сушильного агента 4, привід активатора 5, живильник рослинної маси 6, з регулювальними заслінками 8, перемикач потоку сушильного агента 9 і осадковий циклон (показаний на фото). За допомогою термопар, підключених до реєструючого приладу, заміряли температуру надходить в камеру і сушильного агента, що відпрацював, різницю тиску в камері - U-подібним манометром. Витрата сушильного агента в камері розраховували за показаннями диференціального манометра СЕМ DT-8920, що

реєструє швидкість сушки агента ( $\pm 2,5\%$ ) на виході з камери. При зміні годинної витрати сушильного агента необхідна температура теплоносія підтримувалася за рахунок зміни кількості ТЕНів у калорифер



1 – сушильна камера; 2 - активатор маси, що висушується; 3 – повітророзподільні ґрати; 4 – стабілізатор потоку теплоносія; 5 – привід активатора; 6 – живильник рослинної маси; 7 – тепловентиляційний блок; 8 – повітропроводи; 9 – перемикач потоку теплоносія.

Рисунок 4.8 - Схема та загальний вигляд установки для конвективного сушіння рослинних матеріалів у завислому шарі

В якості технології найбільш прогресивної та альтернативної приготування трав'яного борошна в рамках даного дослідження розглядається технологія спільного експандування зернового корму та подрібненої вегетативної рослинної маси. Сутність даної технології полягає в тому, що суміш зерна та подрібненої зеленої маси бобових трав зазнають короткочасного баротермічного впливу. За рахунок високої температури ( $95-130^{\circ}\text{C}$ ), тиску (2-4 МПа) та зсувних зусиль у гвинтових робочих органах екструдера змінюється

структурно-механічний і частково хімічний склад одержуваної зернотрав'яної суміші. Отриманий корм достатньо зберігає вітаміни і біологічно активні речовини, у тому числі каротин, хвороботворна мікрофлора знищується, крохмаль частково переходить у декстрини.



Рисунок 4.9 –Експандер кормовий ЕСП-75 у процесі роботи

## ВИСНОВКИ

1. Основою сучасної системи виробництва біобезпечної продукції у тваринництві, птахівництві та рибориборстві є організація виробництва повнораціонних комбікормів. Забезпечити адаптивність впровадження сучасних технологій кормовиробництва доцільніше у межах внутрішньогосподарського виробництва. Розвиток внутрішньогосподарського виробництва повнораційних комбікормів вимагає визначення меж економічної ефективності внутрішньогосподарських комбікормових підприємств, умов їх максимально ефективного в організаційно-технологічному плані використання, структурної та технологічної адаптації існуючих та перспективних технологій до різноманіття умов господарювання в АПК.

2. За типом зв'язку між операціями технологічний потік внутрішньогосподарського виробництва комбікормів слід віднести до потоків з напів- жорстке з'єднання, тобто потік містить підсистеми (групи операцій), що мають жорсткі зв'язки всередині підсистем, а між собою ці групи мають гнучкі зв'язки, що являють собою операції проміжного зберігання (накопичення) підготовленої сировини та напівфабрикатів, що реалізуються в накопичувальних ємностях. Виділені підсистеми являють собою блоки операцій усередині технологічного потоку, тому і на машинно-апаратному рівні обладнання, що їх виконує, може об'єднуватися в блоки, що складають технологічний модуль, або реалізовуватися у формі автономних модулів.

3. Для сільськогосподарських тваринницьких підприємств, у яких запаси фуражного зерна зберігаються в кількох складах та (або) з декількома територіально рознесеними тваринницькими фермами, літніми таборами, навісами, раціональним кормороздільним обладнанням є пересувний автономний модуль, розташований окремо. шасі та агрегується з тракторами тягового класу 0.9-1.4 ТС.

4. Раціональні значення параметрів і режими роботи похилого порційного змішувача об'ємом 3 м<sup>3</sup> зі шнеково-лопатевим робочим органом для приготування кормосумішей, що відповідає зоотехнічним вимогам при

нерівномірності перемішування менше 5%, за умови до мінімальної енергоємності процесу змішування компонентів належать: частота обертання валу  $n = 25-36$  хв-1; коефіцієнт заповнення змішувальної камери  $k = 0,47-0,52$ ; тривалість змішування  $t = 3,5-4,5$  хв.; кут нахилу камери змішування  $\varphi = 26-28^\circ$ . При цьому енергоємність процесу при раціональних значеннях складатиме від 2,08 до 2,16 кВт·год/т.

5. Доцільно виробляти високоякісні корми, збагачені протеїном та природним каротином, у тому числі у виробництві органічної продукції тваринництва, у таких галузях, як свинарство, птахівництво та рибництво, шляхом виробництва та впровадження у виробництво високоякісного трав'яного борошна. дієта. У внутрішньогосподарському виробництві рентабельність заготівлі фітошроту може бути досягнута шляхом послідовної оптимізації складових технологічних операцій. Основними критеріями підвищення ефективності технологічних процесів та обладнання, пов'язаних з виробництвом трав'яного борошна є забезпечення потоковості, зниження питомих витрат енергії та покращення якісних показників одержуваного продукту. 7. Найбільш перспективним способом інтенсифікації процесів сушіння вегетативної маси рослин є використання енергії електромагнітного поля НВЧ.

6. Для забезпечення стабільного та енергозберігаючого процесу подрібнення висушеного трав'яного різання доцільно замість молоткових дробарок, що реалізують переважно процес стирання матеріалу про решето, застосувати апарати, що здійснюють різання. При цьому раціональним є забезпечення лінійної швидкості ножа в точці найбільш віддаленої осі обертання в діапазоні 55-65 м/с, отримуючи продукт високої якості для подальшого гранулювання. Енергоємність процесу подрібнення вбирається у 10 кВт\*ч/т.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Honcharuk I., Kupchuk I. Study of mechanical-rheological parameters of feed grain during to the impact-cutting loading. Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research: Scientific monograph. Part Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 1-28
2. Kupchuk I., Poberezhets Ju., Kravets R., Lavreniuk P. Energy intensity of the process of destruction of feed grain in conditions of dynamic contact interaction with the edge of the disc impactor. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2022. №2 (117). С. 97-103.
3. Kupchuk I., Poberezhets Yu., Kravets R. Research of the rheological parameters of feed grain in the process of the combined impact-cutting grinding. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 3 (114). С. 49-58.
4. Kupchuk I., Telekalo N. Substantiation of the constructive and mode parameters of vibratory disc crusher for the farm animals compound feeds production. Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries. Collective monograph. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2021. P. 166-194.
5. Kupchuk I., Tokarchuk O., Hontar V., Zamrii M. The kinematic analysis of a vibration crusher for feed grain. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 1 (100). С. 32-38.
6. Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Poberezhets Ju., Tokarchuk O., Hontar V., Didyk A. Multicriteria compromise optimization of feed grain grinding process. Przegląd Elektrotechniczny. 2021. Vol. 97, №11. P. 179-183.
7. Solona O., Kupchuk I. Dynamic synchronization of vibration exciters of the three-mass vibration mill Przegląd Elektrotechniczny. 2020. Vol. 96, №3. P. 161–165.
8. Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В. Прикладна механіка. Навчальний посібник. Київ: Аграр. наука, змін. Арк. № документ. Підпис Дата Арк. 43 ДП.208.19-3.010.00 ПЗ 2016. 816 с.
9. Булгаков В.М., Бурлака В.В., Калетнік Г.М., Кравченко І.Є., Кучеренко С.І., Мазоренко Д.І., Тіщенко Л.М., Березовий М.Г. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.

10. Калетнік Г.М., Чаусов М.Г. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Підручник. Київ: «Хай-Тек-Прес», 2013. 528 с.
11. Купчук І.М. Дослідження процесу подрібнення зерна дисковим ударним елементом. Технічний сервіс агропромислового, лісового і транспортного комплексів. 2018. № 11. С. 41-48.
12. Купчук І.М., Дідик А.М. Експериментальна оцінка якості подрібнення зернових кормів залежно від конструкційних параметрів та режимів експлуатації вібраційної дискової дробарки. Вібрації в техніці та технологіях. 2022. № 2 (105). С.33-44.
13. Паламарчук І.П., Купчук І.М. Перспективи застосування низькочастотних коливань в процесі подрібнення сировини спиртового виробництва. Вібрації в техніці та технологіях. 2012. №4 (68). С. 112-123.
14. Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М., Соломко І.В. Розробка конструктивно-технологічної схеми віброторної дробарки. Вібрації в техніці та технологіях. 2013. №1 (69). С. 125-129.
15. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.
16. Чудак Р.А., Побережець Ю. М., Лютка Г. І., Купчук І. М. Сучасні кормові добавки у годівлі птиці: монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. 281 с.
17. Ревенко І. І., Манько В. М., Зарайська Є. С. Посібник практикум з механізації виробництва продукції тваринництва. К. : Урожай, 1994 288 с.
18. Ревенко І. І., Кутта І. М., Манько В. М. Механізація виробництва продукції тваринництва. К. : Урожай. 264 с.
19. Любін М. В., Берник П. С.. Механізація транспортуючих та вантажопідійомних робіт. Частина 1 Київ – Вінниця: Урожай, 1996. 191 с.
20. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Дідик А.М. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Деталі машини» для студентів спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форми навчання. Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2022. 91 с.



21. Poberezhets J., Kupchuk I. Effectiveness of the use of probiotics in the diet of broiler chickens. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*. 2021. Vol. 17 (4). P. 9-16.
22. Poberezhets J., Kupchuk I., Yaropud V., Burlaka S. Digestibility of nutrients and broiler chicken productivity under the action of probiotic enteroactive. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2021. № 4 (299). С. 182-186.
23. Poberezhets Ju., Chudak R., Kupchuk, I., Yaropud V., Rutkevych V. Effect of probiotic supplement on nutrient digestibility and production traits on broiler chicken. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32, №2. P.296-302. DOI: 10.15159/jas.21.28
24. Polievoda Y., Kupchuk I., Hontaruk Y., Furman I., Mytko M. Method for determining homogeneity of fine dispersed mixtures based on the software analysis of photo cross-cut of the sample. *Przegląd elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 11. P. 109–113
25. Rutkevych V., Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Burlaka S. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 2. P. 64-69.
26. Solona O., Derevenko I., Kupchuk I. Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. 2019. 291, P. 110-120.
27. Solona O., Kupchuk I. Development of a functional model of a 86 vibrating mill with adaptive control system of mode parameters. In: *Modernization of research area: national prospects and European practices: scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 302-328. DOI: 10.30525/978-9934-26-221-0-12
28. Tsurkan O., Kupchuk I., Polievoda Y., Wozniak O., Hontaruk Y., Prysiazhniuk Y. Digital processing of one-dimensional signals based on the median filtering algorithm. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 11. P. 51-56
29. Братішко В.В. Аналіз продуктивності гвинтового гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. № 43, ч. II. С. 43-49.

30. Братішко В.В. Науково-технічні основи приготування комбікормів гвинтовими грануляторами: монографія. Тернопіль: Видавництво «Крок», 2017. 234 с.

31. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.

32. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. вузів. Київ : Друк, 2005. 464 с.

33. Гевко Б.М., Гевко І.Б., Радик Д.Л. Технологія сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб. К. : Кондор, 2006. 496 с.