

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра агроінжинірингу**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

Михайло ШУЛЯК

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

на тему: «Удосконалення технології виготовлення гранульованих кормів в умовах агропідприємств малих форм господарювання»

Виконав:

Андрій РУДЧЕНКО  
ім'я ПРИЗВИЩЕ

Група:

СТЗ 2402-2м

Науковий керівник:

Світлана СЕМІРЕНКО  
ім'я ПРИЗВИЩЕ

Рецензент:

Михайло ШУЛЯК  
ім'я ПРИЗВИЩЕ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 208 Агроінженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

завідувач кафедри

агроінжинірингу

**Михайло ШУЛЯК**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

\_\_\_\_\_ (підпис)

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу

**Андрію РУДЧЕНКУ**

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: **«Удосконалення технології виготовлення гранульованих кормів в умовах агропідприємств малих форм господарювання»**
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Світлана СЕМІРЕНКО, к.т.н., доц.
3. Строк подання здобувачем роботи: “14 ”11 2025 року.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: 1. Науково-технічна література. 2. Бібліографічні джерела та Інтернет ресурси. 3. Монографії та інші публікації за темою наукового дослідження. 4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки. Анотація. Вступ. 1. Аналіз виробництва гранульованих комбікормів. 2. Розрахунок гранулятора кормів для агропідприємств малих форм господарювання. 3. Експериментальні дослідження. 4. Безпека праці та пожежна безпека при гранулюванні кормів. 5. Економічні розрахунки. Загальні висновки. Література. Додатки
6. Перелік графічного матеріалу: Презентація

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ підпис

Світлана СЕМІРЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ підпис

Андрій РУДЧЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Дата отримання завдання “ 5 ” 09 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналіз виробництва гранульованих комбікормів»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу « <i>Розрахунок гранулятора кормів для агропідприємств малих форм господарювання</i> »	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу « <i>Експериментальні дослідження</i> »	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Безпека праці та пожежна безпека при гранулюванні кормів» та «Економічні розрахунки»	до 20.10.2025 р.	
9.	Написання висновків	до 25.10.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 01.11.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
12.	Подання роботи до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

підпис

Світлана СЕМІРЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Здобувач

\_\_\_\_\_

підпис

Андрій РУДЧЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ABSTRACT	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛЬОВАНИХ КОМБІКОРМІВ	8
1.1 Орієнтовні об'єми кормів на рік для агропідприємств малих форм господарювання	8
1.2 Значення комбікормів у годівлі ВРХ	10
1.3 Різновиди комбікормів у годівлі ВРХ	11
1.4 Розвиток комбікормового виробництва	12
1.5 Аналіз гранульованої продукції	16
2 РОЗРАХУНОК ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ ДЛЯ АГРОПІДПРИЄМСТВ МАЛИХ ФОРМ ГОСПОДАРЮВАННЯ	21
2.1 Розрахунок матриці	21
2.2 Розрахунки силових та геометричних показників гранулятора	25
2.3 Підбір прототипу гранулятора для досліджень та удосконалення	27
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	30
3.1 Обладнання для проведення досліджень	30
3.2 Формування програми й методики проведення випробувань	31
3.3 Результати експериментальних досліджень	34
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ ГРАНУЛЮВАННІ КОРМІВ	41
4.1 Охорона праці	41
4.2 Пожежна безпека	43
5 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	45
5.1 Дані для розрахунку	45
5.2 Обчислення базових величин	45
5.3 Результати розрахунків	46
5.4 Додаткові вигоди, які можуть компенсувати додаткові витрати	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	48
ЛІТЕРАТУРА	49
ДОДАТКИ	51

## АНОТАЦІЯ

**Рудченко Андрій Миколайович** «Удосконалення технології виготовлення гранульованих кормів в умовах агропідприємств малих форм господарювання».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 Агроінженерія. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено технологію виробництва гранульованих кормів для агропідприємств малих форм господарювання як перспективний напрям підвищення ефективності кормовиробництва та підвищення продуктивності тваринництва. На основі аналітичного огляду визначено орієнтовні потреби малих господарств у кормах, охарактеризовано значення комбікормів у годівлі ВРХ та проаналізовано сучасні тенденції розвитку гранульованих кормів в Україні й світі. Проведено класифікацію типів комбікормів і обладнання для гранулювання з урахуванням технічних, енергетичних та економічних потреб невеликих агропідприємств.

У процесі виконання роботи здійснено інженерні розрахунки основних конструктивних параметрів гранулятора, зокрема матриці та силових характеристик робочих органів, що дозволило визначити оптимальні геометричні та функціональні показники обладнання. На основі розрахунків підібрано прототип гранулятора, придатний для подальших експериментальних досліджень і технологічного вдосконалення.

Під час експериментальної частини встановлено раціональні технологічні режими гранулювання: вологість сировини  $W = 14\text{--}16\%$  та частота обертання вала  $n = 300\text{--}500 \text{ хв}^{-1}$ . Виявлено, що частота  $300 \text{ хв}^{-1}$  забезпечує мінімальні енергозатрати, тоді як  $500 \text{ хв}^{-1}$  підвищує продуктивність, але спричиняє зростання крихкості гранул. Досліджено вплив режимів роботи на якість, однорідність і фізико-механічні властивості гранул, що дозволило обґрунтувати оптимальний баланс між енергоефективністю та якістю продукції.

Економічний аналіз довів, що використання гранульованих кормів забезпечує істотне зменшення фактичного споживання кормів завдяки кращій поїданості, перетравності й зниженню втрат. При підвищенні ефективності на 5% річна економія становить близько 64,7 тис. грн. Додаткові переваги гранулювання – зменшення пилу, підвищення гігієни, зниження втрат і ризиків, зручність транспортування та можливість використання на різних лініях – створюють додаткову цінність і підвищують загальну рентабельність виробництва.

Сформовані практичні рекомендації щодо вибору обладнання, технологічних режимів, заходів охорони праці та пожежної безпеки можуть бути використані малими аграрними підприємствами для оптимізації виробничих процесів, підвищення ресурсної ефективності та забезпечення сталого розвитку виробництва комбікормів.

**Ключові слова:** гранулювання кормів, малі сільськогосподарські підприємства, гранулятор, енергоефективність, годівля тварин, економічна ефективність.

## ABSTRACT

**Rudchenko Andrii Mykolaiovych** “Improvement of Feed Pellet Production Technology under the Conditions of Small-Scale Agricultural Enterprises.”

Qualification thesis for obtaining the degree of Master of Agroengineering under the educational program "Precision Farming Systems", specialty 208 Agroengineering. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification thesis explores the technology of producing pelleted feed for small-scale agricultural enterprises as an effective method to enhance feed utilization, improve livestock productivity, and reduce production costs. The study includes an analytical assessment of feed requirements for small farms, the role of compound feeds in cattle nutrition, and modern global and national trends in pellet feed manufacturing. Various types of compound feeds and pelletizing equipment are systematized, with attention to their suitability for the technical and economic capacities of small producers.

Engineering calculations were conducted to determine the key structural and operational parameters of a pelletizer, enabling the selection of an appropriate prototype for further refinement. Experimental investigations identified optimal technological conditions—feedstock moisture of  $W = 14\text{--}16\%$  and shaft rotation speed of  $n = 300\text{--}500$  rpm. Lower speeds provided reduced energy consumption, whereas higher speeds increased output but slightly decreased pellet durability. Additional tests examined pellet uniformity, mechanical strength, and the influence of operational modes on product quality.

Economic analysis showed that pelleted feed can significantly reduce actual feed consumption due to better digestibility, improved feeding efficiency, and minimized losses, resulting in annual savings of up to 64.7 thousand UAH. Non-financial benefits such as reduced dust, improved hygiene, easier handling, and more flexible logistics further increase the value of pellet production.

The developed recommendations on equipment selection, technological optimization, and safety requirements can support small agricultural enterprises in improving feed production efficiency and achieving sustainable operational development.

**Keywords:** feed pelletizing, small-scale agricultural enterprises, pelletizer, energy efficiency, animal feeding, economic efficiency.

## **ВСТУП**

### **1. Актуальність теми**

Ефективне забезпечення тваринницьких господарств якісними та доступними кормами є важливою умовою розвитку аграрного сектору. Традиційні комбікорми переважно базуються на зернових, що посилює продовольчу конкуренцію та підвищує собівартість. Використання побічних продуктів і вторинних ресурсів дає змогу зменшити витрати, підвищити поживність кормів і рентабельність виробництва. Для малих агропідприємств оптимізація технології гранулювання є ефективним шляхом до економії ресурсів, підвищення якості продукції та сталого розвитку виробництва.

### **2. Аналіз стану наукової розробки проблеми**

Проблемам удосконалення технології комбікормів присвячені праці вітчизняних учених В.А. Бутковського, О.І. Шаповаленка, В.А. Афанасьєва, Н.П. Черняєва, Б.В. Касьянова, М.Л. Тимошишина та ін. Вони досліджували питання складу, поживності й технологічних процесів виробництва кормів. Зарубіжні науковці M. Rempe, F. Olsson, J.D. Summers, D.C. Church розробили підходи до підвищення енергоефективності та покращення якості гранул. Однак оптимізація процесу гранулювання для малих господарств залишається недостатньо вивченою.

### **3. Мета дослідження**

Метою дослідження є вдосконалення технології виробництва кормових гранул на малих агропідприємствах шляхом оптимізації параметрів процесу гранулювання, підбору обладнання та оцінки економічної ефективності.

### **4. Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є процес виробництва гранульованих комбікормів на агропідприємствах малих форм господарювання.

### **5. Предмет дослідження**

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу гранулювання кормів, конструктивні характеристики обладнання та техніко-економічні показники ефективності виробництва гранульованих кормів.

## **6. Завдання дослідження**

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан і тенденції виробництва гранульованих кормів в Україні та світі.
2. Визначити необхідні обсяги кормів для агропідприємств малих форм господарювання.
3. Провести класифікацію обладнання для гранулювання та обґрунтувати вибір найбільш доцільних типів для малих господарств.
4. Виконати інженерні розрахунки й визначити основні конструктивні параметри гранулятора кормів.
5. Провести експериментальні дослідження для встановлення раціональних технологічних параметрів процесу гранулювання (вологість, частота обертання тощо).
6. Оцінити енергоефективність та продуктивність процесу гранулювання за різних режимів роботи.
7. Дослідити економічну ефективність використання гранульованих кормів порівняно з розсипними, з урахуванням фінансових і нефінансових переваг.

## **7. Методи дослідження**

У роботі застосовано аналітичні, експериментальні, інженерно-розрахункові та економічні методи для визначення технологічних параметрів гранулювання й оцінки ефективності виробництва.

## **8. Структура та обсяг роботи**

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

Загальний обсяг становить: 9 таблиць, 14 рисунків і 25 використаних джерел.

# 1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛЬОВАНИХ КОМБІКОРМІВ

## 1.1 Орієнтовні об'єми кормів на рік для агропідприємств малих форм господарювання

Визначення кількості кормів, які необхідні для утримання певного поголів'я ВРХ – основна задача для агропідприємств малих форм господарювання.

При виконанні подальших досліджень нам необхідно знати об'єми концентрованих кормів для середнього агропідприємства малих форм господарювання [2].

Для прикладу розглянемо агропідприємства малих форм господарювання із поголів'ям ВРХ у кількості 50 голів та приведемо типові розрахунки кормів для даного поголів'я.

Структура стада:

Дійні корови — 20 голів

Бички/великі тварини на відгодівлі — 15 голів

Молодняк 6–12 міс. — 10 голів

Телята 2–6 міс. — 5 голів

Зимовий період (період, коли використовують запасні корми): 200 діб.

Норми споживання (взято середні зимові значення з типових норм):

Дійна корова (на 1 голову/добу): силос 13,5 кг, сіно 5 кг, солома 1,5 кг, коренеплоди 9 кг, концентрати 4 кг.

Бички (1 голова/добу): силос 17,5 кг, сіно 3 кг, коренеплоди 6 кг, концентрати 3 кг.

Молодняк 6–12 міс. (1 голова/добу): силос 7 кг, сіно 2,5 кг, коренеплоди 2,5 кг, концентрати 1,5 кг.

Телята 2–6 міс. (1 голова/добу): силос 4 кг, сіно 1 кг, коренеплоди 1,5 кг, концентрати 0,75 кг.

Сіль/мінерали: дорослі 30 г/добу, молодняк 15 г, телята 10 г.

Наведемо типові розрахунки кормів.

1) Силос

Дійні:  $20 \times 13,5 = 270$  кг/день  $\rightarrow$  за 200 діб:  $270 \times 200 = 54\,000$  кг = 54,0 т.

Бички:  $15 \times 17,5 = 262,5$  кг/день  $\rightarrow 262,5 \times 200 = 52\,500$  кг = 52,5 т.

Молодняк:  $10 \times 7 = 70$  кг/день  $\rightarrow 70 \times 200 = 14\,000$  кг = 14,0 т.

Телята:  $5 \times 4 = 20$  кг/день  $\rightarrow 20 \times 200 = 4\,000$  кг = 4,0 т.

Разом силосу =  $54\,000 + 52\,500 + 14\,000 + 4\,000 = 124\,500$  кг = 124,5 т.

## 2) Сіно

Дійні:  $20 \times 5 = 100$  кг/день  $\rightarrow 100 \times 200 = 20\,000$  кг = 20,0 т.

Бички:  $15 \times 3 = 45$  кг/день  $\rightarrow 45 \times 200 = 9\,000$  кг = 9,0 т.

Молодняк:  $10 \times 2,5 = 25$  кг/день  $\rightarrow 25 \times 200 = 5\,000$  кг = 5,0 т.

Телята:  $5 \times 1 = 5$  кг/день  $\rightarrow 5 \times 200 = 1\,000$  кг = 1,0 т.

Разом сіна =  $20\,000 + 9\,000 + 5\,000 + 1\,000 = 35\,000$  кг = 35,0 т.

## 3) Солома (приблизно для підстилки й частково в раціоні)

(взято середні дози: дійні 1,5 кг; бичкам 0,5; молодняку/телятам по 0,2)

Дійні:  $20 \times 1,5 = 30$  кг/день  $\rightarrow 30 \times 200 = 6\,000$  кг = 6,0 т.

Бички:  $15 \times 0,5 = 7,5$  кг/день  $\rightarrow 7,5 \times 200 = 1\,500$  кг = 1,5 т.

Молодняк:  $10 \times 0,2 = 2$  кг/день  $\rightarrow 2 \times 200 = 400$  кг = 0,4 т.

Телята:  $5 \times 0,2 = 1$  кг/день  $\rightarrow 1 \times 200 = 200$  кг = 0,2 т.

Разом соломи =  $6\,000 + 1\,500 + 400 + 200 = 8\,100$  кг = 8,1 т.

## 4) Коренеплоди (буряк, картопля тощо)

Дійні:  $20 \times 9 = 180$  кг/день  $\rightarrow 180 \times 200 = 36\,000$  кг = 36,0 т.

Бички:  $15 \times 6 = 90$  кг/день  $\rightarrow 90 \times 200 = 18\,000$  кг = 18,0 т.

Молодняк:  $10 \times 2,5 = 25$  кг/день  $\rightarrow 25 \times 200 = 5\,000$  кг = 5,0 т.

Телята:  $5 \times 1,5 = 7,5$  кг/день  $\rightarrow 7,5 \times 200 = 1\,500$  кг = 1,5 т.

Разом коренеплодів =  $36\,000 + 18\,000 + 5\,000 + 1\,500 = 60\,500$  кг = 60,5 т.

## 5) Концентрати (зерно, комбікорм тощо)

Дійні:  $20 \times 4 = 80$  кг/день  $\rightarrow 80 \times 200 = 16\,000$  кг = 16,0 т.

Бички:  $15 \times 3 = 45$  кг/день  $\rightarrow 45 \times 200 = 9\,000$  кг = 9,0 т.

Молодняк:  $10 \times 1,5 = 15$  кг/день  $\rightarrow 15 \times 200 = 3\,000$  кг = 3,0 т.

Телята:  $5 \times 0,75 = 3,75$  кг/день  $\rightarrow 3,75 \times 200 = 750$  кг = 0,75 т.

Разом концентратів =  $16\,000 + 9\,000 + 3\,000 + 750 = 28\,750$  кг = 28,75 т.

## 6) Сіль/премікси

Дорослі (20 + 15 = 35):  $35 \times 0,03 \text{ кг} = 1,05 \text{ кг/день} \rightarrow \times 200 = 210 \text{ кг/рік}$ .

Молодняк:  $10 \times 0,015 = 0,15 \text{ кг/день} \rightarrow \times 200 = 30 \text{ кг/рік}$ .

Телята:  $5 \times 0,01 = 0,05 \text{ кг/день} \rightarrow \times 200 = 10 \text{ кг/рік}$ .

Разом сіль/мінерали  $\approx 250 \text{ кг/рік}$ .

Підсумок — річні запаси (запаси на 200 діб зими)

Силос: 124,5 т

Сіно: 35,0 т

Солома: 8,1 т

Коренеплоди: 60,5 т

Концентрати (зерно, комбікорм): 28,75 т

Сіль/премікси:  $\approx 0,25 \text{ т}$  (250 кг)

## 1.2 Значення комбікормів у годівлі ВРХ

Комбікорми мають вирішальне значення в годівлі ВРХ – великої рогатої худоби, оскільки забезпечують збалансований раціон, необхідний для максимальної продуктивності (молока або м'яса), здоров'я та економічної ефективності тваринництва [3].

Ключове значення комбікормів у годівлі ВРХ

### 1. Збалансованість та поживність

Комбікорми – це складні суміші, що містять у оптимальному співвідношенні:

- Енергетичні компоненти (зернові, меляса).
- Протеїнові компоненти (шроти, макухи – соєвий, соняшниковий, ріпаковий та ін.).
- Вітаміни та мінерали (включаючи мікроелементи, такі як кальцій, фосфор, йод).
- Біологічно активні речовини (ферменти, амінокислоти).

Саме така збалансованість дозволяє повністю задовольнити потреби тварини в усіх життєво необхідних елементах, що неможливо зробити, використовуючи лише традиційні корми (сіно, силос, зерно).

## 2. Підвищення продуктивності

Для дійних корів: Спеціалізовані комбікорми з високим вмістом протеїну та енергії є основою раціону для стабільного та високого надою молока, а також покращення його якості (збільшення жирності та вмісту білка).

Для м'ясної худоби: Сприяють інтенсивному набору ваги та скороченню термінів відгодівлі, забезпечуючи швидке зростання молодняку.

## 3. Покращення здоров'я та імунітету [4-5]

Завдячуючи вмісту вітамінів, що є збалансованим, а також мінералів, комбікорми:

- Зміцнюють імунну систему, знижуючи ризик захворювань.
- Нормалізують обмінні процеси в організмі.
- Запобігають післяпологовим ускладненням (наприклад, парезу) у корів.
- Покращують показники відтворення (репродуктивну функцію).

## 4. Зручність та технологічність [4-5]

Простота годування: Комбікорми (особливо гранульовані) легко дозувати, зберігати та розподіляти, що дозволяє використовувати системи автоматизації та знижує затрати праці обслуговуючого персоналу.

## 5. Максимальне засвоєння.

Гранулювання підвищує поживну цінність корму (наприклад, шляхом часткового оцукрювання крохмалю) і забезпечує краще перетравлювання, мінімізуючи відходи корму.

### **1.3 Різновиди комбікормів у годівлі ВРХ**

Комбікорми використовуються у годівлі великої рогатої худоби не завжди як єдиний раціон, а часто як концентрована добавка до грубих і соковитих кормів (сіно, солома, силос) [6-8].

Різновиди комбінованих кормів для годівлі великої рогатої худоби наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Різновиди комбікормів для ВРХ

Вид комбікорму	Опис	Призначення
Повнораціонний	Містить усі необхідні поживні речовини; може бути основним кормом.	Для певного виду, віку та продуктивності тварин.
Концентрат	Використовується як доповнення до грубих кормів для збагачення раціону протеїном, енергією та мінералами.	Підвищення молочної/м'ясної продуктивності.
Білково-вітамінно-мінеральна добавка (БВМД)	Висококонцентрована суміш протеїнів, вітамінів, мінералів; не є самостійним кормом.	Вводиться у невеликій кількості до зернової основи для створення збалансованого концентрату.

Таким чином, комбікорми дозволяють розкрити генетичний потенціал продуктивності ВРХ, роблячи тваринництво більш ефективним та економічно вигідним.

#### 1.4 Розвиток комбікормового виробництва

Комбікормова промисловість являється одною з головних складників розвитку тваринництва в теперішній час та його окремих напрямів – птахівництва, скотарства та рибництва. Вона виступає своєрідною ланкою, що поєднує природні ресурси із потребами тварин, забезпечуючи їх збалансованими поживними речовинами. Сьогодні основними критеріями конкурентоспроможності комбікормів на ринку виступають якість та економічна доцільність. Ефективність виробництва полягає у поєднанні невисокої собівартості з гарантованим позитивним впливом на продуктивність тварин [8].

В Україні комбікормова галузь займає значне місце в агропромисловому комплексі, оскільки забезпечує кормами різні напрями тваринництва та птахівництва. Підприємства виробляють як готові комбікорми, так і білково-

вітамінні добавки, премікси та замітники молока. Розвиток галузі відбувався хвилеподібно.

Перші комбікорми з'явилися у ХІХ ст. у вигляді простих сумішей подрібненого зерна. У 1930–1940-х роках почалося формування комбікормових заводів, проте війна призвела до занепаду. Від 1950-х років виробництво знову зростає, відбувається наближення підприємств до сировинних баз і споживачів, з'являються білково-вітамінні добавки та премікси. У 1970–1980-х роках розпочалася інтенсифікація виробництва, зокрема впровадження технологій водно-теплової обробки (екструдкування, експандування, пропарювання тощо), що значно підвищило ефективність кормів.

Заводи «першого покоління» характеризувалися великою енергоємністю та громіздкими технологічними лініями. Наступні покоління виробництва базувалися на скороченні кількості обладнання, автоматизації та переході до попередніх сумішей, а згодом – до порційного принципу виробництва, що дало змогу підвищити якість продукції та зменшити витрати.

Важливою віхою стало широке впровадження гранулювання – процесу ущільнення та пресування кормових сумішей. Спочатку гранулювання використовували у різних сферах (від аграрної до паливної), а згодом воно стало невід'ємною частиною комбікормової промисловості [9].

У 1990-ті роки спостерігався спад виробництва через економічні труднощі, проте з початку 2000-х галузь поступово відновлювалася, що було зумовлено швидким розвитком птахівництва. В останні десятиліття в Україні почали працювати заводи ІV покоління, які базуються на сучасних технологіях і забезпечують високу якість комбікормів [10].

На теперішній час обсяг виготовлення залежить від динаміки розвитку тваринництва та ринкової кон'юнктури. На світовому рівні комбікормова індустрія оцінюється у понад 400 млрд доларів США щороку, а серед найбільших виробників варто відзначити США, країни ЄС, Китай та Бразилію.

Вагомий внесок у становлення та розвиток технології виробництва комбікормів зробили відомі вітчизняні науковці – В.А. Бутковський, О.І. Шаповаленко, В.А. Афанасьєв, Н.П. Черняєв, П.Г. Демідов, Б.В. Касьянов, А.О.

Кочетова, І.Т. Мерко, С.М. Золотарьов, А.П. Левицький, М.Л. Тімошишин, П.М. Дарманьян, Л.С. Кожарова, І.К. Чайка та інші. Значну роль у розвитку галузі відіграли також зарубіжні дослідники, серед яких М. Rempе, F. Olsson, J.D. Summers, P. Suraj, J. Andrews, D.C. Church, інші.

Станом на сьогодні обсяг виготовлення комбікормів визначається двома ключовими факторами: станом тваринницької та птахівницької галузей, а також рівнем агропромислового розвитку конкретних країн і регіонів світу. Одним із найбільших виробників комбікормів залишаються США, де у 2011–2014 рр. спостерігалися стабільно високі показники. На глобальному рівні комбікормова індустрія оцінюється більш ніж у 400 млрд доларів США щороку. Серед провідних виробників азійського ринку вирізняється тайська корпорація Charoen Pokphand, яка щорічно випускає близько 18 млн тонн продукції на різних виробничих майданчиках у країнах Східної Азії та поза її межами.

Динаміка виробництва комбікормів у світі наведена на рисунку 1.1.

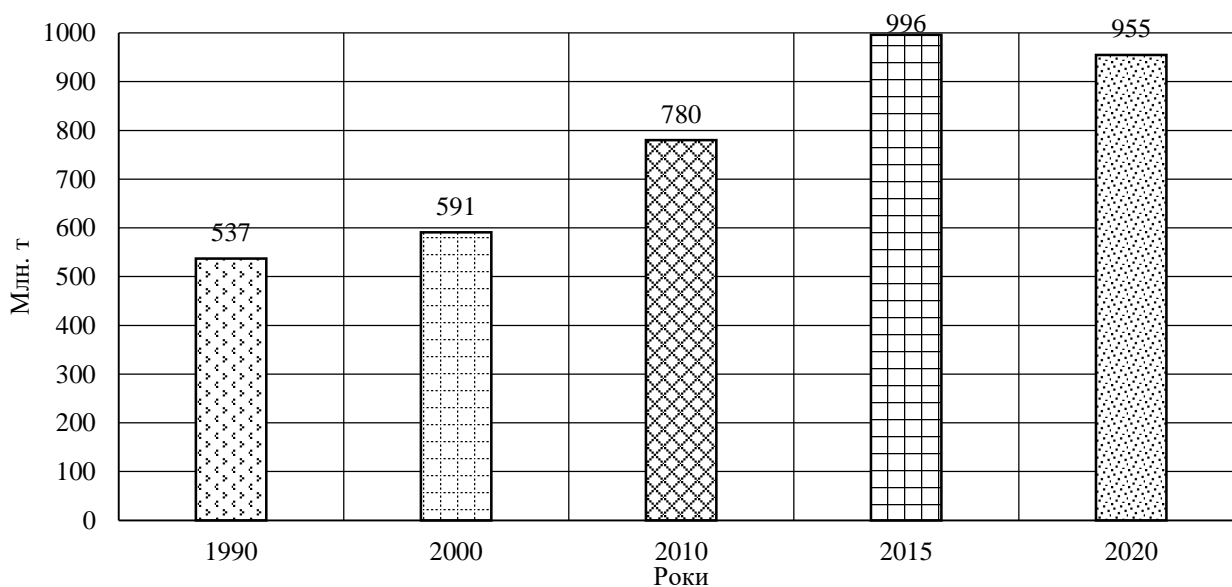


Рисунок 1.1 – Динаміка виробництва комбікормів у світі (за даними Alltech-The Science of Animal Nutrition and Health) [11,14]

За інформацією агентства «ПроАгро», протягом січня–жовтня 2012 року Україна експортувала 78,9 тис. тонн комбікормів на суму 145,1 млн доларів США, тоді як імпортував лише 4,5 тис. тонн. Основними імпортованими товарами були кормові добавки, премікси та готові кормосуміші, які надходили переважно з країн Європи та Китаю.

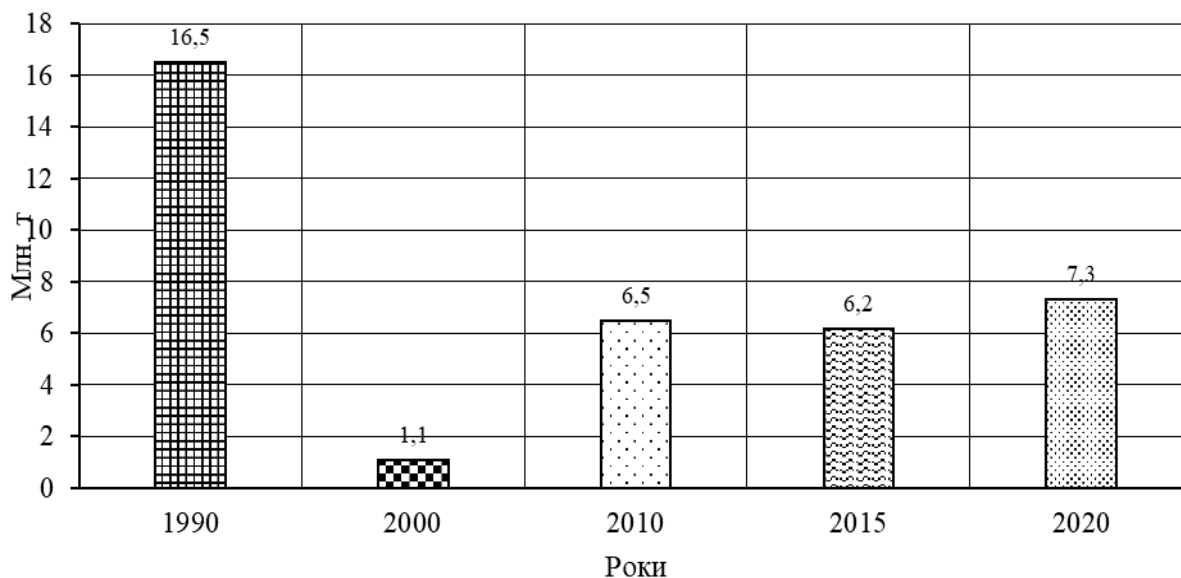


Рисунок 1.2 – Динаміка виробництва комбікормів в Україні (за даними latifundist) [14-15]

Виробництво комбікормів в Україні посідає важливе місце у структурі сільськогосподарського виробництва та демонструє тенденцію до постійного розвитку (рис. 1.2). За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) та Державної служби статистики України, станом на 2019 рік найбільшу частку у структурі виробництва займали комбікорми для птахівництва – від 40 до 60 %, що відповідає глобальним тенденціям розвитку галузі (рис. 1.3, 1.4).

На теперішній час основу виробництва комбікормів становлять комбікорми для птиці, друге місце по об'ємах виробництва складають комбікорми для свиней (рис. 1.3).

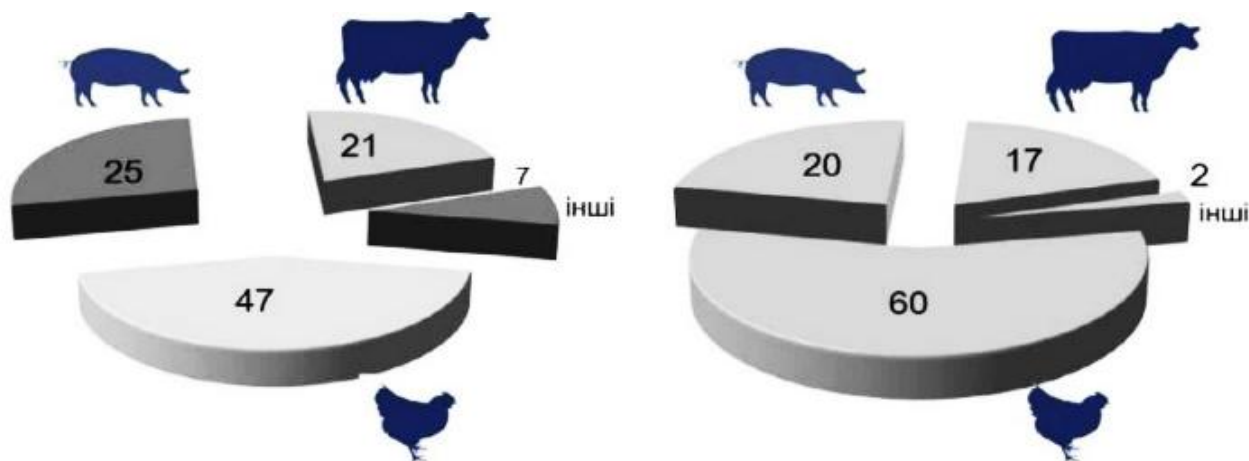


Рисунок 1.3 – Розподіл виробництва комбікормів по видах домашніх тварин

## 1.5 Аналіз гранульованої продукції

Гранульовані корми, включаючи комбікорми, висівки, продукти переробки олійних культур та інші, мають низку істотних переваг у порівнянні з розсипними. При грануляції змінюється структура продукту, поліпшується засвоюваність поживних речовин, зменшується мікробне забруднення, створюються кращі умови для зберігання, скорочується об'єм. Найважливішим є те, що гранульовані комбікорми відзначаються високою харчовою цінністю, що робить їх виробництво актуальним та пояснює стійкий попит серед споживачів [14-15].

### 1.5.1 Характеристика гранульованих комбікормів

Комбікорми – це складна однорідна суміш різних кормових інгредієнтів, які попередньо очищають, подрібнюють і поєднують за науково обґрунтованими рецептами для максимально ефективного засвоєння поживних речовин тваринами [15].

До основних переваг комбікормів відносять:

- економію кормових ресурсів;
- раціональне використання відходів різних виробництв;
- можливість додавати у склад сировину, що не застосовується окремо через низькі якісні показники;
- надання кормам зручної для згодовування форми.

Такі корми виготовляють практично для всіх видів сільськогосподарських тварин. Використання збалансованих комбікормів підвищує продуктивність на 10–12%, а при збагаченні вітамінами, мікроелементами та іншими біологічно активними добавками – на 25–30% у порівнянні з годівлею окремими зерновими культурами.

Комбікорми оцінюють за поживною цінністю, яка виражається у кормових одиницях (1 корм. од. дорівнює 1 кг вівса). Основу комбікормів складає зернова сировина, її частка сягає 60–65%. Найчастіше використовуються такі культури як просо, кукурудза, пшениця, овес, ячмінь, що багаті на вуглеводи (приблизно 70%), проте містять лише 10–15% білка.

Технологічний процес виробництва гранульованих комбікормів включає кілька етапів:

- приймання, розміщення та зберігання сировини;
- дозування компонентів;
- змішування;
- гранулювання (пресування);
- зберігання готової продукції.

### 1.5.2 Переваги технології гранулювання кормів [16]

Штучна сушка кормових культур із подальшим гранулюванням є одним із найбільш ефективних способів їх заготівлі. Цей метод придатний як для бобових трав, так і для злакових культур, які зазвичай використовують на сіно, силос або зерно. Дослідження показали, що за поживною цінністю гранульовані корми наближаються до концентрованих, а за вмістом каротину значно їх перевищують. У 1 кг гранул міститься від 0,7 до 0,86 кормових одиниць, 39–109 г перетравного протеїну та 32–187 мг каротину [16, 24].

Вихід готового корму при гранулюванні вищий, ніж при заготівлі сіна, силосуванні чи зборі зерна. Наприклад, при заготівлі суміші вівса з горохом у фазі молочно-воскової стиглості на сіно втрачається майже половина поживних речовин (приблизно 47% кормових одиниць і протеїну) та понад 93% каротину. Використання гранулювання значно знижує ці втрати. Якщо прийняти продуктивність 1 га посіву такої суміші при заготівлі на сіно за 100%, то при гранулюванні вона збільшується: у 1,7 рази за кормовими одиницями, у 1,3 рази за протеїном і у 8,5 рази за каротином [16].

Для різних культур гранулювання дозволяє суттєво підвищити вихід поживних речовин. Крім того, зберігання гранульованих кормів супроводжується значно меншими втратами. Після 7–12 місяців у гранулах втрачається не більше 10% протеїну і 50% каротину. Для сіна, силосу чи трав'яного борошна ці показники значно вищі: уже через 5–7 місяців зберігання втрати протеїну становлять 20–30%, а каротину — до 80% [12, 21, 25].

Важливо й те, що при високотемпературній сушці (за умови правильного режиму) біологічна цінність білка трав практично не змінюється. На відміну від цього, традиційні методи заготівлі кормів призводять до втрат значної частини амінокислот. Також встановлено, що під час зберігання сіна, сінажу та силосу відбувається не лише руйнування каротину, а й його ізомеризація, коли  $\beta$ -каротин переходить у менш засвоювані форми.

Основні переваги гранульованого корму перед розсипним наведені в таблиці 1.2.

Таблиця – 1.2 - Переваги гранульованого корму перед розсипним [24-25]

Категорія	Перевага гранульованого корму	Чому це важливо
Харчова цінність	100% збалансований раціон	Кожна гранула містить абсолютно всі компоненти (білки, вітаміни, мінерали). Тварина не може вибирати лише "смачні" частини, що запобігає дисбалансу харчування.
Засвоюваність	Вища перетравність	Під час грануляції (теплова обробка паром) крохмаль частково перетворюється на декстрини (легшу форму), що покращує засвоєння поживних речовин і підвищує енергетичну цінність.
Продуктивність	Зростання ефективності	Краще засвоєння та збалансованість призводять до збільшення приросту маси або надоїв молока при зниженні конверсії корму (менше корму на одиницю продукції).
Санітарія та Здоров'я	Знезараження сировини	Висока температура процесу (70–90°C) знищує більшість патогенних бактерій, цвілевих грибів та мікроорганізмів, роблячи корм безпечнішим.
Гігієна годівлі	Відсутність пилу	Гранули не порошок, що покращує якість повітря в приміщенні (важливо для дихальної системи) і не подразнює слизові оболонки тварин.
Зберігання та Логістика	Компактність і стабільність	Гранули мають вищу щільність, займають менше місця при зберіганні, не розшаровуються при транспортуванні та краще підходять для автоматизованої роздачі корму.

### 1.5.3 Класифікація обладнання для виробництва гранул

Класифікацію машин для виробництва гранул можна представити у наступному вигляді (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Класифікація машин для виробництва гранул [12]

Ознака класифікації	Види машин
За принципом дії	Плоско-матричні Кільцево-матричні Екструдери Експандери
За способом підготовки сировини	Сухі гранулятори Вологі (парові) гранулятори
За продуктивністю	Малі (20–500 кг/год) Середні (0,5–2 т/год) Великі (2 т/год і більше)
За конструкцією приводу	Механічний привід (редуктор, ремінь) Електропривід Дизельний привід
За сферою використання	Для комбікормів (ВРХ, свині, птиця, риба) Для біопалива (тирса, солома, лушпиння) Універсальні

Коротка характеристика обладнання для виробництва гранул наведена нижче.

Штемпельні преси [12, 13] працюють на основі порційної подачі рослинної сировини у камери пресування (відкритого або закритого типу).

Вальцеві преси ущільнюють матеріал шляхом прокатки між циліндричними вальцями. Перевагою є можливість безперервного процесу та зменшення питомих витрат енергії на брикетування [12, 13, 21].

Матричні преси є найпоширенішими в Україні, Росії та за кордоном. Вони бувають одно- або багатоматричні, з активними або пасивними робочими органами, вертикальні або горизонтальні, з кільцевими або плоскими матрицями.

Дослідження [15, 14, 19, 22, 23, 24] показують, що на таких пресах можна отримувати брикети щільністю 700–850 кг/м<sup>3</sup> і крихкістю 9–14%, з питомими енергетичними витратами 28–30 кВт·год/т і максимальною продуктивністю до 3000 кг/год.

Матричні преси забезпечують безперервний процес гранулювання, проте мають високу енергоємність, підвищене перетирання кормів та, іноді, обмежену можливість регулювання щільності гранул.

Існують також вібраційні, ударні та інші способи ущільнення (наприклад, шестеренні гранулятори). Хоч вони застосовуються рідше, їхня конструкція технічно цікава [12-15].

Шестеренні гранулятори [13-15]] поєднують функції пресування кормів із передачею крутного моменту через зубчасті колеса.

Для проведення досліджень нами був вибраний матричний гранулятор кормів.

### **Висновки до першого розділу**

1. Визначені необхідні об'єми кормів для середнього агропідприємства малих форм господарювання.

2. Проведений аналіз гранульованої продукції показав на актуальність її виробництва та застосування як в нашій країні, так і в усьому світі.

3. Проведена класифікація обладнання для виробництва гранул вказує на велику різновидність даного обладнання та визначення доцільності вибору саме для агропідприємств малих форм господарювання.

4. Гранулювання кормів є важливим і широко застосовуваним технологічним процесом, що забезпечує отримання високоякісної продукції.

## 2 РОЗРАХУНОК ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ ДЛЯ АГРОПІДПРИЄМСТВ МАЛИХ ФОРМ ГОСПОДАРЮВАННЯ

На базі проведення аналізу джерел літератури, а також прайсів різних компаній, що випускають гранулятори кормів та власних попередніх досліджень задаємо наступними параметрами для розрахунку гранулятора для агропідприємств малих форм господарювання:

- продуктивність гранулятора  $Q = 0,2$  т/год = 0,056 кг/с;
- діаметр гранул  $d_{gp} = 8$  мм;
- кількість вальців  $z_6 = 2$ ;
- частота обертання водила,  $n_6 = 500$  хв<sup>-1</sup>.

Враховуючи те, що гранулюванню піддається зерно злакових культур із невеликими об'ємами домішок, розрахунок проводимо по зерну злакових культур.

### 2.1 Розрахунок матриці

Довжина філь'єр матриці буде визначатися:

$$l_{\phi} = \frac{d_{gp}}{4\varepsilon \cdot f_{cn}} \cdot \ln \left( \frac{\varepsilon \cdot p_{max}}{q_0} + 1 \right), \quad (2.1)$$

де  $\varepsilon$  - коеф. бокового тиску;

$f_{cn}$  – коеф. що показує тертя матеріалу в спокої;

$p_{max}$  – той тиск, що ущільнює матеріал;

$q_0$  – тиск на бічні поверхні, викликаний еластичним збільшенням об'єму матеріалу.

При:  $m = 0,33$ , вологість сировини  $W = 15\%$  приймаємо:

$\varepsilon = 0,42$  ;  $q_0 = 4,4 \dots 4,5$  МПа;  $p_{max} = 85$  МПа;  $f = 0,23 \dots 0,25$

Підставивши дані в формулу (2.1) отримаємо:

$l_{\phi} = 45,3$  мм.

Визначаємо довжину предкамери матриці:

$$l_{np} = \frac{d_{gp}}{4t \cdot g \alpha} \cdot \left[ \exp \left( \frac{2}{d_{gp}} \cdot \frac{l_{\phi} - l_{ц}}{1/f_{cg} + 1/f_{\phi}} \right) - 1 \right], \quad (2.2)$$

де  $l_{ц}$  – розмір частини, що є циліндричною;

$\alpha$  – це кут нахилу твірної конічної передкамери відносно поздовжньої осі отвору.

$$l_{ц} = (0,8 - 0,9) l_{ф} \quad (2.3)$$

$$l_{ц} = (0,8 - 0,9) 45,3 = 36,2 - 40,8 \text{ мм.}$$

Прийmemo для розрахунків 40 мм.

Кут нахилу частини утворюючої передкамери конусної до вісі отвору приймається  $\alpha = 6,5 - 8,5^\circ$ .

Провівши розрахунки, довжина передкамери буде становити:

$$l_{np} = 3,9 \text{ мм}$$

Загальний розмір матриці в циліндричній частині і передкамери буде становити:

$$l_c = l_{ц} + l_{np} \quad (2.4)$$

$$l_c = 40 + 3,9 = 43,9 \text{ мм}$$

Прийmemo 44 мм.

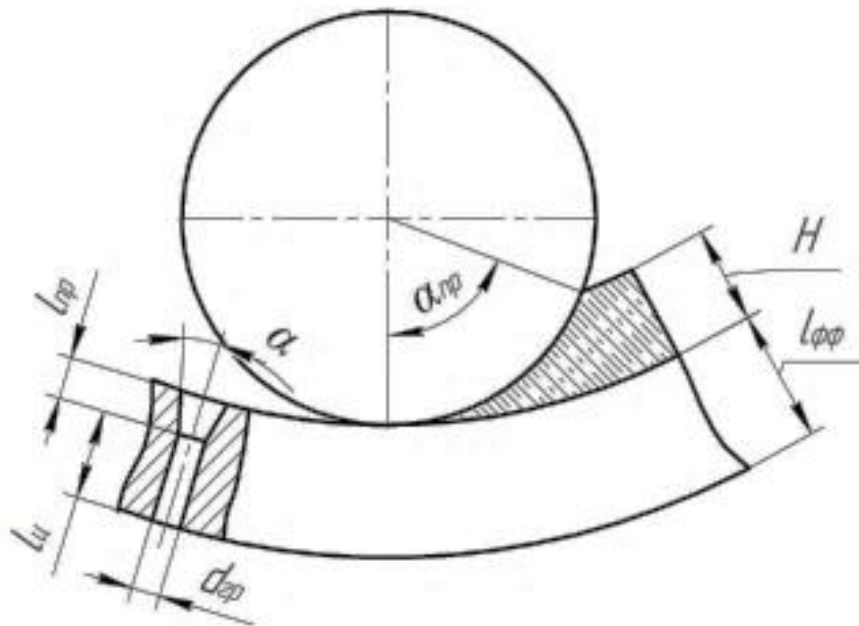


Рисунок 2.1 – Схема для розрахунку

Так, як при роботі гранулятора проходить постійний знос самої матриці, тому для забезпечення довгострокової роботи необхідно збільшення фактичної довжини каналів на 10 - 15 %.

$$l_{фф} = (1,1 - 1,15) l_c \quad (2.5)$$

Тоді,

$l_{\phi\phi}$  буде в межах від 48,4 мм до 50,6 мм.

Приймаємо 50 мм.

Площа активної поверхні матриці, розрахована з умови отримання потрібної продуктивності та належних характеристик гранул:

$$A_p = \frac{Q \cdot t_{cp}}{k_n \cdot l_{\phi\phi} \cdot \beta \cdot \rho}, \quad (2.6)$$

де  $t_{cp}$  - час перебування сировини у філь'ерах матриці, с;

$k_n$  – коеф. перфорації матриці;

$\beta$  – коеф. розширення гранул;

$\rho$  - щільність виготовлених гранул.

Згідно з експериментальними даними, тривалість перебування матеріалу в отворах матриці під час гранулювання зернових становить ( $t_{cp}$ ) від 15 до 18 секунд (приймаємо 15 с), а кормових сумішок – від 22 до 25 секунд. Значення коефіцієнтів у розрахунковій формулі приймаються в межах:  $k_n$  від 0,4 до 0,5 (приймаємо 0,5),  $\beta$  від 1,05 до 1,1 (приймаємо 1,1). За попередніми експериментальними дослідженнями було встановлено, що густина гранул ( $\rho$ ) із зернових сумішок знаходиться в діапазоні від 1100 до 1200 кг/м<sup>3</sup>. При розрахунках приймаємо 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Отже, після розрахунків встановлено, що загальна площа поверхні матриці буде становити

$$A_p = 0,025 \text{ м}^2$$

Із рис. 2.1, максимальний кут пресування:

$$\alpha_{max} \leq \frac{\varphi}{1 - r/R}, \quad (2.7)$$

$\varphi$  – кут тертя при русі матеріалу;

$r/R$  - відношення радіусів вальця до матриці.

Кут тертя руху:

$$\varphi = \arctg f_p, \quad (2.8)$$

де  $f_p$  – коеф. тертя руху, (значення  $f_p$  знаходиться в межах від 0,5 до 0,7

$$\varphi = \arctg 0,7 = 35^\circ$$

Розмірне співвідношення між радіусом вальця та радіусом матриці обмежується конструктивною компактністю преса й змінюється в досить

вузьких межах. Для обладнання з двома вальцями цей показник знаходиться в діапазоні 0,42 – 0,45.

Значення після розрахунків буде  $\alpha_{max} \leq 61,4^0$ . Приймаємо  $61^0$ .

Максимально допустиме відношення товщини шару продукту, що підхоплюється вальцями під час роботи преса, визначається відносно радіуса вальця і має такі значення:

$$H/r = (r/R) \left[ 1 - \sqrt{\left[ 1 - 2 \left( \frac{r}{R} \right) \right] (1 - \cos \alpha)} \right], \quad (2.9)$$

Після підстановки значень знаходимо:

$$H/r = 0,3.$$

Нормоване співвідношення товщини шару матеріалу, який захоплюють вальці, до їхнього радіуса визначається за формулою:

$$(H/r)_{ном} = (H/r) \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \quad (2.10)$$

де,  $n_1$  – поправочний коефіцієнт, що враховує коливання подачі сировини в прес;

- $n_2$  – коефіцієнт, який відображає нерівномірність розподілу матеріалу по ширині матриці;
- $n_3$  – коефіцієнт, що характеризує вплив процесу кондиціонування сировини на продуктивність преса.

За даними [15] при гранулюванні зерна злакових коефіцієнти приймаємо:

$$n_1 = 0,75,$$

$$n_2 = 0,25,$$

$$n_3 = 0,55.$$

$$(H/r)_{ном} = 0,3 \cdot 0,75 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 0,031$$

Дійсний кут пресування визначаємо:

$$\alpha_{np} = \arccos \left[ 1 - \frac{1 - \left[ 1 - \left( \frac{H}{r} \right) \right]^2}{2 \left( \frac{r}{R} \right) \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right) \right]} \right] \quad (2.11)$$

Після підстановки даних визначаємо значення  $\alpha_{np}$ .

$$\alpha_{np} = 28,1^0 = 0,49 \text{ рад.}$$

## 2.2 Розрахунки силових та геометричних показників гранулятора

Зусилля на пресування:

$$F = A \cdot p_{cp} \cdot (r/R) \frac{\alpha_{np}}{2\pi} \quad (2.12)$$

де  $p_{cp}$  - середній тиск пресування, від 30 до 32 МПа (приймаємо для розрахунків  $p_{cp} = 30$  МПа).

Після підстановки значень отримаємо:

$$F = 25,2 \text{ кН.}$$

Для забезпечення якісного перемішування сировини та її рівномірного розподілу між вальцями преса, змішувач і живильник повинні працювати з частотою обертання в межах 500...550 хв<sup>-1</sup>. У цих самих межах рекомендується встановлювати і частоту обертання водила преса. Враховуючи умови завдання, приймаємо частоту обертання  $n_b = 500$  хв<sup>-1</sup>

Частоту обертання вальця (ролика) визначають за наступною залежністю:

$$n_p = \frac{n_b}{r/R}, \quad (2.13)$$

Після підстановки значень до формули (2.13) отримаємо:

$$n_p \approx 1200 \text{ хв}^{-1}$$

Діаметр вальців підбирається з урахуванням конструктивних особливостей преса. Для обладнання середньої продуктивності (близько 0,2 т/год) зазвичай використовують вальці діаметром у межах 100 – 150 мм. У даному розрахунковому прикладі приймається діаметр  $D_g = 100$  мм.

Внутрішній радіус матриці:

$$R_m = \frac{0,5D_b}{r/R}, \quad (2.14)$$

Значення внутрішнього радіуса матриці буде  $R_m = 122$  мм.

Приймаємо 150 мм.

Визначаємо ширину матриці:

Ширина матриці визначається за формулою:

$$B_m = A/2\pi \cdot R_m. \quad (2.15)$$

і буде становити:

$$B_m = 0,026 \text{ м}$$

Приймаємо 30 мм.

З конструктивних міркувань ширина матриці має задовольняти умову:

$$0,5 \cdot D_6 \leq B_M \leq D_6 \cdot 0,5.$$

Якщо отримане значення виходить за межі наведеного інтервалу, необхідно скоригувати діаметр вальця.

Реальна внутрішня площа матриці визначається за виразом:

$$A_\partial = 2\pi \cdot R_M B_M, \quad (2.16)$$

Значення внутрішня площа матриці буде становити  $A_\partial = 0,028 \text{ м}^2$ .

Визначаємо число філь'єр матриці:

$$z_0 = \frac{4A_\partial \cdot k_\Pi}{\pi \cdot d_{\text{гр}}^2}, \quad (2.17)$$

Число філь'єр буде після підстановки даних становити  $z_0 = 281,25$ .

Приймаємо число філь'єр - 282 шт.

Визначаємо середню швидкість руху гранул:

$$v_{cp} = l_{\phi\phi} / t_{cp} \quad (2.18)$$

Значення середньої швидкості руху гранул буде становити  $v_{cp} = 3,33 \text{ мм/с} = 0,0033 \text{ м/с}$ .

Зусилля тертя сировини по філь'єрі визначаємо за формулою:

$$F_{mp} = f_{cn} \cdot \epsilon \cdot p_{yn} \cdot P_k \cdot l_{\phi\phi}, \quad (2.19)$$

де,  $p_{yn}$  – тиск, що на упорі,

$P_k$  – загальний периметр каналу матриці.

Розрахункове значення тиску на упорі  $p_{yn}$  рекомендується брати в межах від 10 до 40% від максимального тиску пресування, який становить  $p_{max} = 85 \text{ МПа}$ .

У нашому випадку:

$$p_{yn} = 0,4 \cdot 85 = 34 \text{ МПа}.$$

Периметр круглого отвору філь'єри визначається за формулою:

$$P_k = \pi \cdot d_{cp};$$

В нашому випадку:

$$P_k = 0,025 \text{ м}.$$

Зусилля тертя буде становити  $F_{mp} = 4105,5 \text{ Н} \approx 4,1 \text{ кН}$ .

Потужність, яка потрібна для привода преса визначаємо за формулою:

$$P_{np} = F_{mp} v_{cp} z_\phi, \quad (2.20)$$

де,  $z_u$  - кількість каналів, у яких проходить одночасне пресування.

$$z_u = z_o \cdot z_v \cdot \frac{\alpha_{пр}}{360}, \quad (2.21)$$

Тоді,  $z_u = 44,2$ . Приймаємо 44 канали.

Потужність для привода преса буде становити  $P_{пр} = 1,6$  кВт.

Потужність електродвигуна привода гранулятора з урахуванням динамічних навантажень та ККД привода:

$$P_{дв} = \frac{P_{пр} \cdot k_d}{\eta_{мех}}, \quad (2.22)$$

де  $k_d$  - динамічний коеф. (приймаємо 1,2);

$\eta_{мех}$  – ККД передачі приводу (приймаємо 0,9).

Потужність електродвигуна привода буде становити  $P_{дв} = 2,2$  кВт.

### 2.3 Підбір прототипу гранулятора для досліджень та удосконалення

Із проведеного аналізу літературних джерел, прайсів компаній, що випускають гранулятори кормів та власних попередніх досліджень найближче підходить за своїми параметрами для агропідприємств малих форм господарювання гранулятор гранулятор ОГП-150.1 для комбикормів (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд гранулятора ОГП-150.1

Даний гранулятор один із найбільш затребуваних механізмів у сільському господарстві, який дозволяє покращити раціон тварин. Його доцільно застосовувати як у домашніх умовах, так і на виробництві. Основне призначення обладнання – формування збалансованого корму шляхом правильного змішування інгредієнтів, збагачення раціону вітамінами, лікувально-профілактичними добавками та іншими необхідними речовинами.

Для аграрних підприємств малих форм господарювання, що займаються відгодівлею свиней, кролів, коней, великої рогатої худоби, бройлерів, овець та інших тварин, гранулятор ОГП-150.1 (220 В) з однофазним двигуном потужністю 2 кВт від «TMS Agro» є надійним обладнанням.

Ця модель поєднує високу ефективність та продуктивність, забезпечуючи швидке виготовлення гранул потрібних розмірів. Конструктивно гранулятор складається зі станини, електродвигуна 2 кВт, робочого вузла та матриці діаметром 150 мм з можливістю регулювання фракцій у межах 2–8 мм (рис. 2.3).

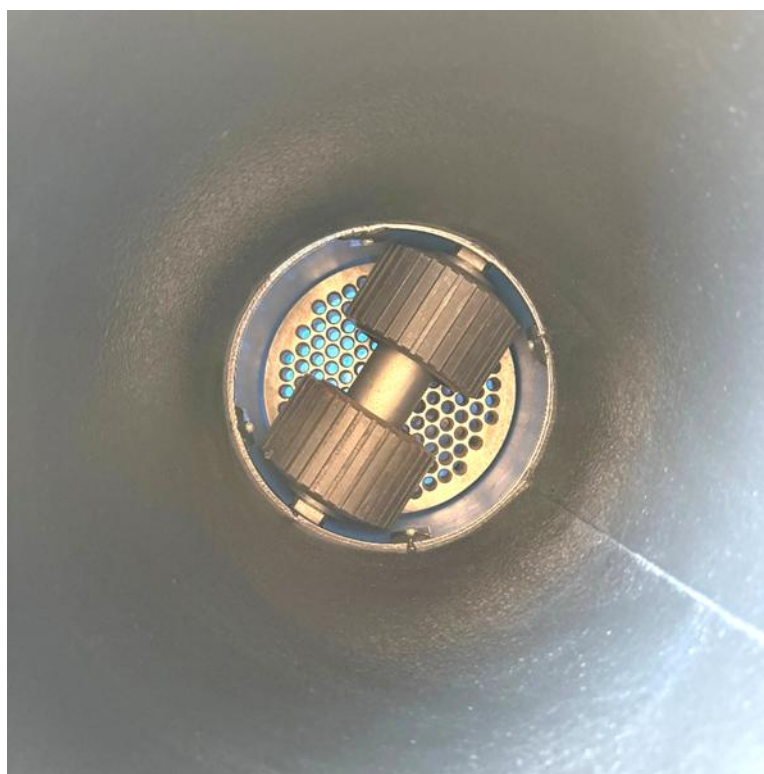


Рисунок 2.3 – Робочий вузол гранулятора ОГП-150.1

Так, отвори 2 мм підходять для кормів для курчат і перепелів, 3 мм – для курей, 4–5 мм – для кролів, індиків і качок, 8 мм – для свиней, корів та коней. В розрахунках та при проведенні подальших дослідженнях була взята матриця з діаметром філь’єр 8 мм.

Технічна характеристика гранулятора ОГП-150.1 наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 -Технічна характеристика гранулятора ОГП-150.1

Показник	Значення
Напруга	220 В
Частота	50 Гц
Довжина	800 мм
Ширина	600 мм
Висота	800 мм
Вага	105 кг
Завантажувальний конвеєр	присутній
Розширений бункер	присутній
Кількість вальців	2 шт
Радіальні отвори	діаметр від 2 до 8 мм
Матриця	діаметр 150 мм

### **Висновки до другого розділу**

В результаті проведення розрахунків були визначені основні характеристики гранулятора із заданими параметрами, що забезпечить ефективність та економічність гранулювання кормів із зернових сумішок.

Підібраний по результатах розрахунків прототип гранулятора для подальших досліджень та удосконалень.

## 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Обладнання для проведення досліджень

Заключні експериментальні випробування процесу гранулювання зернових культур були проведені на модернізованому дослідному стенді, загальний вигляд якого можемо бачити на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Загальна схема експериментального стенду для дослідження грануляторів

Для приводу шнекового транспортера, який подає сировину до гранулятора, використовувався асинхронний електродвигун типу RAM потужністю електродвигун 2,0 кВт і частотою обертання  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ . Регулювання частоти обертання виконувалося за допомогою частотного перетворювача HYUNDAI N700E 055HF, що забезпечує плавну зміну швидкості у діапазоні від 0 до  $1000 \text{ хв}^{-1}$ .

У ході випробувань визначали продуктивність гранулювання зернових за різних режимів роботи гранулятора, а також щільність та міцність отриманих гранул залежно від температурно-вологісних характеристик вихідної сировини.

Випробування проводилися за таких кліматичних умов:

- температура навколишнього повітря – 20 °С;
- тиск атмосферний – 760 мм рт. ст.
- відносна вологість – 60 %;

Для фіксації гранулятора використовували різьбове кріплення до спеціально виготовленої основи (рами). Під'єднання до електричної мережі змінного струму проводили через силовий кабель (220 В, 50 Гц). Для забезпечення електробезпеки в агрегаті є заземлення контурне.

### **3.2 Формування програми й методики проведення випробувань**

#### **3.2.1 Визначення вимог до зазначеної програми та методики**

Програма та методика випробувань системи на стадії дослідної експлуатації включати перелік конкретних перевірок (задач), які підтверджують відповідність вимогам технічного завдання (ТЗ), із посиланням на відповідні методики.

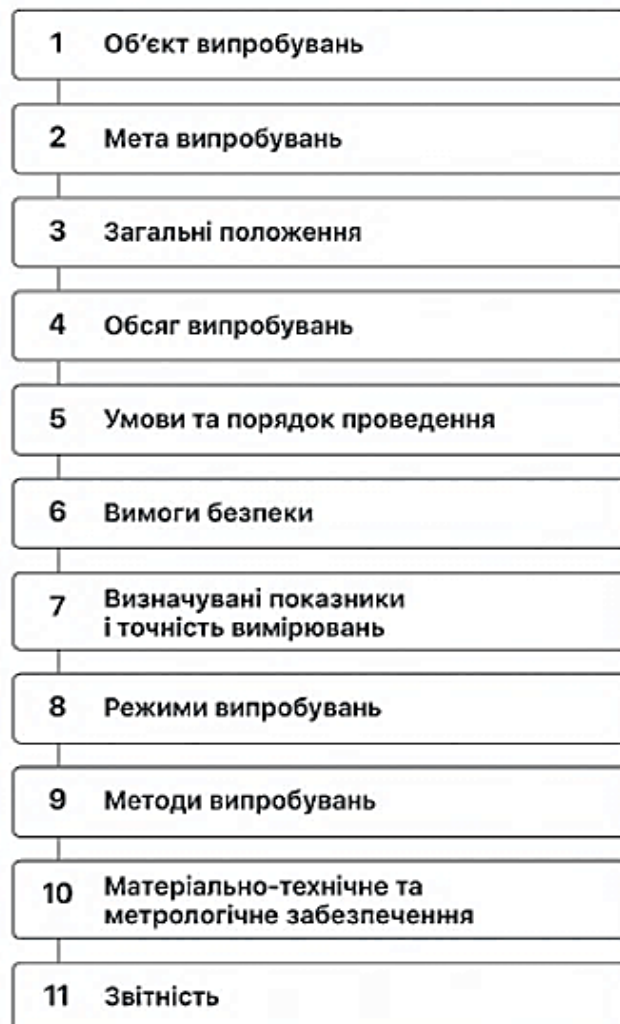


Рисунок 3.2 – Структура методики й програми випробувань

Дослідження виконувалися на зразках зернових культур.

Будова гранулятора наведена на рис. 3.3.

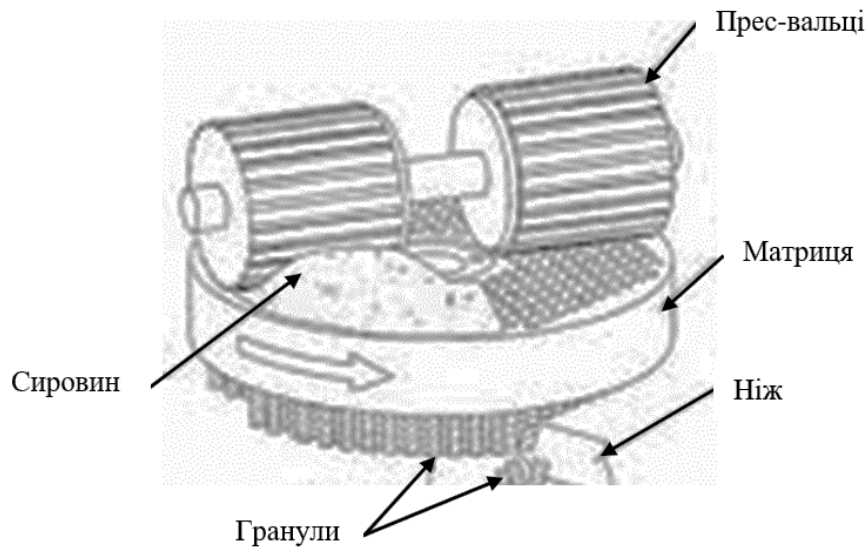


Рисунок 3.3 – Схема гранулятора

Початковий матеріал надходить у завантажувальний бункер.

Бункер-завантажувач – куди подається сировина.

Робоча камера – головна частина, де відбувається ущільнення матеріалу, складається з:

- матриці (плоскої) з отворами;
- пресувальних роликів, які тиснуть на сировину та продавлюють її крізь отвори.

Вивантажувальний жолоб – куди потрапляють готові гранули.

Принцип роботи гранулятора можна представити наступними етапами.

1. Сировина завантажується в бункер.
2. Під дією гравітації вона подається у робочу камеру.
3. Ролики притискають матеріал до матриці, створюючи високий тиск.
4. Частки сировини спресовуються, частково нагріваються від тертя й злипаються.
5. Маса видавлює крізь отвори матриці, і вона набуває форми циліндричних стрижнів.
6. Гранули виходять у жолоб, після чого охолоджуються й готові до фасування або використання.

### 3.2.2 Методика досліджень

Нами був проведений двофакторний експеримент та розроблена модель залежності щільності гранул від частоти обертання ведучого валу гранулятора та вологості сировини.

$$\rho = f(W, n) \quad (3.1)$$

де  $\rho$  – щільність гранули, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – вологість матеріалу, %;

$n$  - частоти обертання ведучого валу, хв<sup>-1</sup>.

Дослідження проводили відповідно до розробленої програми та методики випробувань.

Для задання інтервалів варіювання у двофакторному експерименті, визначаємо:

*Для частоти обертання ведучого валу гранулятора:*

- нижній рівень фактора – 300
- верхній рівень фактора – 700

1. Знаходимо інтервал варіювання ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$
$$\Delta = \frac{700 - 300}{2} = \frac{400}{2} = 200$$

2. Знаходимо основний (нульовий) рівень фактора ( $X_0$ ):

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}$$
$$X_0 = \frac{700 + 300}{2} = \frac{1000}{2} = 500$$

Нижній рівень (-1) = 300

Нульовий рівень (0) = 500

Верхній рівень (+1) = 700

Інтервал варіювання ( $\Delta$ ) = 200

*Для вологості сировини:*

- нижній рівень фактора – 12
- верхній рівень фактора – 36

1. Знаходимо інтервал варіювання ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}$$
$$\Delta = \frac{36 - 12}{2} = \frac{24}{2} = 12$$

2. Знаходимо основний (нульовий) рівень фактора ( $X_0$ ):

$$X_0 = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}$$
$$X_0 = \frac{36 + 12}{2} = \frac{48}{2} = 24$$

Нижній рівень (-1) = 12

Нульовий рівень (0) = 24

Верхній рівень (+1) = 36

Інтервал варіювання ( $\Delta$ ) = 12

Таблиця 3.1 – Інтервали варіювання двофакторного експерименту

Інтервали варіювання	$X_1$ (W, %)	$X_2$ (n, хв <sup>-1</sup> )
Нижній рівень	12	300
Нульовий рівень	24	500
Верхній рівень	36	700
Крок варіювання	12	200

У цьому дослідженні, для представлення властивостей нелінійної системи, факторний експеримент слугує основою для побудови наступної поліноміальної моделі:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2. \quad (3.2)$$

Роботу виконували відповідно до заздалегідь розробленої схеми багатфакторного планування.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

Всі проведені досліджень проводилися при діаметр фільтер  $d_\phi = 8$  мм; кількість вальців  $z_s = 2$ . Для достовірності результатів всі дослідження проводились трикратно

### 3.3.1 Визначення щільності гранул комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора

Перші дослідження проводились по визначенню щільності гранул комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора. Результати досліджень наведені в таблиці 3.2 та на рисунку 3.4.

Таблиця 3.2 - Залежність щільності гранул комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора

№ п/п	Частота обертання ведучого валу гранулятора $n$ , $\text{хв}^{-1}$	Щільності гранул $\rho$ , $\text{кг/м}^3$
1	300	1110
2	350	1120
3	400	1140
4	450	1160
5	500	1180
6	550	1200
7	600	1220
8	650	1230
9	700	1235

У графічному вигляді дану залежність можна представити наступним чином (рис. 3.4).

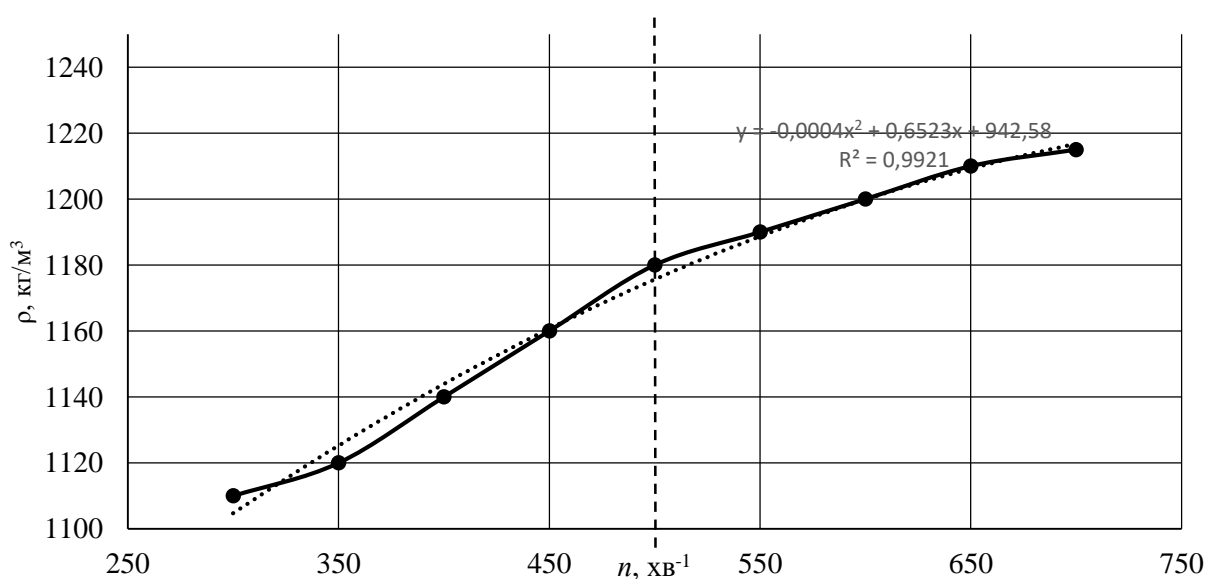


Рисунок 3.4 – Залежність щільності гранул комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора

Як видно із графіка, інтенсивність зміни щільності гранул при збільшенні частоти обертання ведучого валу гранулятора більше 500 хв<sup>-1</sup> суттєво зменшується. Тобто, найбільш доцільною є частота обертання ведучого валу гранулятора 500 хв<sup>-1</sup>.

Залежність щільності гранул комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора можна представити наступною залежністю:

$$\rho = -0,0004 n^2 + 0,6523 n + 942,58 \quad (3.3)$$

### 3.3.2 Визначення щільності гранул комбікормів від вологості сировини

Наступні дослідження проводились по визначенню щільності гранул комбікормів від вологості сировини, що гранулюється. Результати досліджень наведені в таблиці 3.3 та на рисунку 3.5.

Таблиця 3.3 - Залежність щільності гранул комбікормів від вологості сировини

№ п/п	В	Щільності гранул $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	12	1210
2	14	1180
3	16	1160
4	18	1150
5	20	1140
6	22	1135
7	24	1125
8	26	1120
9	28	1110
10	30	1105
11	32	1100
12	34	1090
13	36	1070

Як видно із таблиці та графіка, найбільша щільність гранул буде при мінімальній вологості, при якій проводились дослідження – 12%. Значне

зниження щільності спостерігається після 26% вологості сировини, що гранулюється. Тому, вважаємо за доцільне гранулювання проводити при вологості сировини 14% (стандартній вологості).

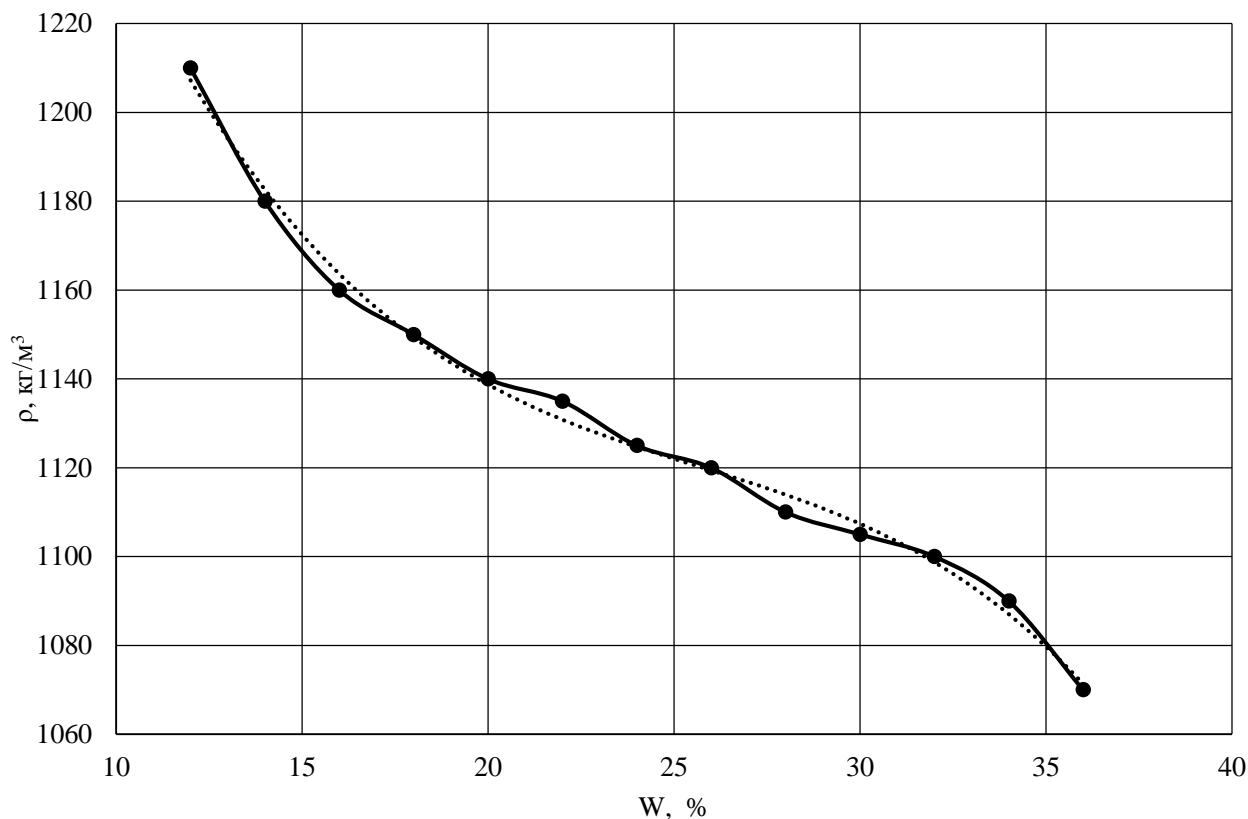


Рисунок 3.5 - Залежність щільності гранул комбікормів від вологості сировини

Залежність щільності гранул комбікормів від вологості сировини, що гранулюється можна представити наступною залежністю:

$$\rho = -0,02 W^3 + 1,5435 W^2 - 42,248 W + 1526,6 \quad (3.4)$$

В результаті проведення обробки експериментальних даних можна записати рівняння регресії, що буде описувати залежність щільності кормових гранул від частоти обертання ведучого валу (води́ла) та вологості сировини, яка гранулюється:

$$\rho(n, W) = -0,0004n^2 + 0,6523n - 0,02W^3 + 1,5435W^2 - 42,248W + 2469,18 \quad (3.5)$$

Графічно поверхню відгуку можна представити у наступному вигляді (рис. 3.6).

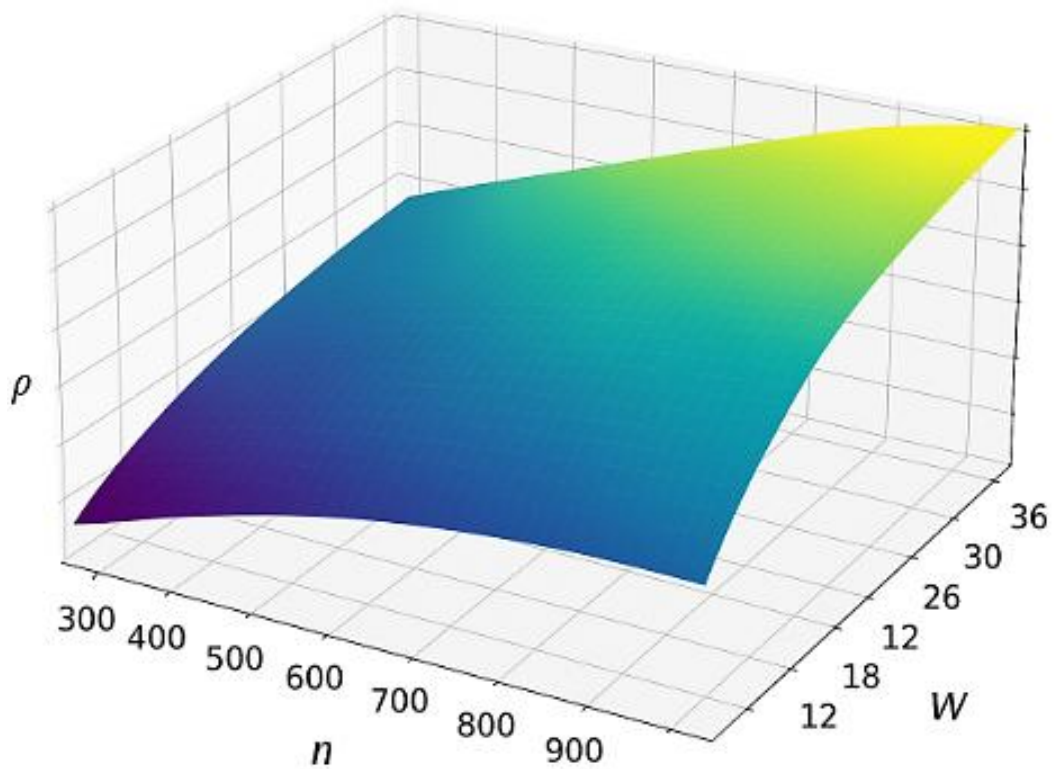


Рисунок 3.6 - Поверхня відгуку залежності щільності  $\rho$  від частоти обертання  $n$  ведучого вала (води́ла) та вологості сировини, що гранулюється  $W$

Графік демонструє, що залежність від  $n$  має форму параболи, відкритої вниз (максимум), тоді як залежність від  $W$  є кубічною, що призводить до S-подібного профілю, що ускладнює пошук оптимуму. Максимальне значення  $\rho$  буде досягтися при комбінації  $n$ , близького до максимуму параболи, та  $W$ , що забезпечує найвище значення кубічного полінома в межах робочої області.

### 3.3.3 Визначення енергозатрат на виготовлення гранульованих комбікормів від частоти обертання ведучого валу гранулятора та вологості сировини

Дослідження виконувалися для визначення оптимальних параметрів вологості сировини, що гранулюється та частоти обертання ведучого валу гранулятора для мінімізації енергозатрат при виготовленні даного виду комбікормів.

Заміри електропотужності двигуна (кВт) виконувалися на комбінації точок:  $W = 12, 14, 16, 18, 20\%$  і  $n = 300, 400, 500, 600, 700$  об/хв.

Облік енергозатрат проводився за допомогою електролічильника. Для точності вимірювання затрат об'єм сировини, що гранулювався у кожному дослідженні становив одну тону.

Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Результати експериментальних досліджень по визначенню енергозатрат на виготовлення гранульованих комбікормів (кВт·год/т)

Вологість, $W$ (%)	Частота обертання, $n$ (хв <sup>-1</sup> )				
	300	400	500	600	700
12	30,25	31,25	32,25	33,25	34,25
14	28,25	29,25	30,25	31,25	32,25
16	28,25	29,25	30,25	31,25	32,25
18	30,25	31,25	32,25	33,25	34,25
20	34,25	35,25	36,25	37,25	38,25
22	40,25	41,25	42,25	43,25	44,25
24	48,25	49,25	50,25	51,25	52,25
26	58,25	59,25	60,25	61,25	62,25

Як видно з таблиці 3.4, мінімальні енерговитрати досягаються при вологості близько  $W = 14 - 16\%$  та при нижчих частотах 300 хв<sup>-1</sup>. Мінімальне значення в таблиці – 28,25 кВт·год/т ( $W=14$  або 16,  $n=300$ ).

При збільшенні вологості від оптимальної енерговитрати швидко ростуть: при  $W=24-26\%$  енергозатрати зростають помітно - 48–62 кВт·год/т.

При рості частоти  $n$  (за інших рівних умов) енергозатрати зростають лінійно: зміна з 300 до 700 хв<sup>-1</sup> підвищує енергозатрати на ~4 кВт·год/т.

Таким чином, доцільно гранулювання проводити при вологості сировини в межах 14–16% - це найважливіший крок для мінімізації енерговитрат. Навіть відхилення на 4–6% призводить до значного збільшення енергії на тонну.

Так, як підвищення частоти дає зростання продуктивності більше, ніж пропорційне збільшення потужності мотора, то на основі проведених досліджень можна задатися середньою частотою із діапазона досліджень - 500 хв<sup>-1</sup>. При підвищенні частоти поряд із незначним зростанням продуктивності гранулятора йде стрімке збільшення крихкості гранул.

Після завершення процесу гранулювання отримали зразок гранульованого корму (рис. 3.7, додаток Б).



Рисунок 3.7 - Зразок гранульованого корму

### **Висновки до третього розділу**

В результаті експериментальних досліджень було визначено, що для гранулювання кормів раціональні значення вологості та частоти становлять, відповідно,  $W = 14-16\%$  та  $n = 300-500 \text{ хв}^{-1}$ . Причому, при частоті  $300 \text{ хв}^{-1}$  досягаються мінімальні енергозатрати для вказаної вологості, а при  $500 \text{ хв}^{-1}$  – збільшення енергозатрат при значному підвищенню продуктивності. Підвищення частоти поряд із незначним зростанням продуктивності гранулятора призводить до підвищення крихкості гранул

## 4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ ГРАНУЛЮВАННІ КОРМІВ

Виробництво гранульованих кормів є важливим етапом у сільському господарстві, але воно також несе в собі значні ризики. Небезпеки виникають через специфіку обладнання, властивості сировини та технологічні процеси. Щоб запобігти нещасним випадкам і пожежам, необхідно суворо дотримуватися вимог пожежної безпеки і охорони праці [18].

### 4.1 Охорона праці

#### *Експлуатація обладнання*

*Перевірка перед запуском:* Перед кожним запуском гранулятора необхідно провести візуальний огляд. Переконайтеся, що всі захисні кожухи, огорожі та кришки надійно закріплені. Перевірте цілісність електропроводки та наявність заземлення.

*Рухомі частини:* Всі обертові та рухомі елементи (паси, вали, шестерні) повинні бути повністю закриті захисними механізмами, які запобігають випадковому контакту з ними.

*Аварійні ситуації:* Гранулятор повинен мати кнопку аварійної зупинки, яка дозволяє негайно знеструмити обладнання у разі небезпеки. У разі заклинювання або появи сторонніх шумів негайно вимкніть гранулятор і лише після повної зупинки усуньте проблему.

#### *Захист працівників*

Гранулятор — це потужне обладнання з обертовими механізмами, яке створює ризик механічних травм, опіків та ураження дихальних шляхів. Правила охорони праці розроблені для мінімізації цих ризиків.

#### *Вимоги до персоналу та навчання*

*Допуск до роботи:* До роботи з гранулятором допускаються лише повнолітні робітники, що проходили медогляд, не мають протипоказань, а також отримали спеціальне навчання та проінструктовані з питань охорони праці.

*Інструктаж:* Робітники мають бути детально ознайомлені щодо інструкції з експлуатації гранулятора, правилами безпеки, порядком дій у надзвичайних ситуаціях (займання, аварія). Інструктаж має проводитися до початку робіт, а потім – не рідше одного разу на квартал.

*Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):*

Працівники зобов'язані користуватися ЗІЗ – засобами індивідуального захисту (рис. 4.1):

- Спецодяг: Щільно прилягаючий одяг без вільно звисаючих елементів.
- Захисні рукавиці: Для захисту рук.
- Захисні окуляри та респіратор: Для захисту органів зору та дихання від пилу.



Рисунок 4.1 – Засоби індивідуального захисту та їх ефективність

*Вимоги до робочого місця та обладнання*

*Технічний огляд:* Перед кожним запуском потрібно провести візуальний огляд обладнання: перевірити цілісність корпусу, надійність кріплення болтів і гайок, відсутність пошкоджень на електропроводці та двигуні.

*Захисні елементи:* Усі рухомі та обертові деталі (паси, шестерні, вали) повинні бути обладнані надійними захисними кожухами. Заборонено працювати на обладнанні, якщо ці кожухи зняті або пошкоджені.

*Електробезпека:* Електропроводка та пускова апаратура мають бути справними. Обов'язкове надійне заземлення обладнання. Не дозволяється працювати з мокрими руками або стоячи на вологій підлозі.

*Ергономіка:* Робоче місце повинно бути добре освітленим. Заборонено захащувати простір навколо гранулятора, що може заважати швидкій евакуації у разі аварії.

## **4.2 Пожежна безпека**

### *Профілактика займань*

Виробництво гранульованих кормів пов'язане з високим ризиком пожеж через легкозаймистість сировини (тирса, солома, лушпиння, зернові відходи) та інтенсивний нагрів у процесі гранулювання. Основні заходи спрямовані на запобігання загорянню та забезпечення можливості його швидкого гасіння [19].

### *Профілактичні заходи*

*Контроль температури та вологості:* Це найважливіший аспект. Перегрів сировини в матриці гранулятора, особливо якщо її вологість занижена, може призвести до займання. Тому необхідно постійно контролювати ці параметри за допомогою автоматизованих систем.

*Видалення пилу:* Кормовий пил є дуже вибухонебезпечним. Він може утворити вибухонебезпечну суміш з повітрям. Тому робоче приміщення та обладнання необхідно регулярно очищати від пилу, використовуючи промислові пилососи, а не щітки.

*Справність електрообладнання:* Усі електродвигуни, кабелі та інші елементи повинні бути справними. Перевантаження мережі, іскри та коротке замикання є одними з найчастіших причин пожеж.

*Зберігання матеріалів:* Сировину та готові гранули слід зберігати у спеціально відведених сухих приміщеннях, уникаючи прямого сонячного світла та джерел тепла.

### *Засоби пожежогасіння*

*Первинні засоби:* місце для роботи і виробничий цех мають бути обладнані пожежним щитом з повним комплектом інструментів: вогнегасниками (порошковими або вуглекислотними), відрами для води, лопатою, ящиком з піском та багром.

*План евакуації:* На видному місці має висіти затверджений план евакуації та інструкції щодо дій у разі пожежі. Працівники повинні знати розташування евакуаційних виходів.

### **Висновки до четвертого розділу**

Дотримання вимог пожежної безпеки і охорони праці для гранулювання кормів є запорукою збереження життя і здоров'я працівників, а також запобігання матеріальним збиткам. Постійний контроль за технічним станом обладнання, навчання персоналу, використання ЗІЗ і дотримання правил пожежної безпеки дозволяють мінімізувати ризики і забезпечити безпечний та ефективний виробничий процес.

## 5 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Розрахунки проводимо з метою визначення економічної доцільності гранулювання комбінованих кормів та порівняння їх вартості із розсипними.

### 5.1 Дані для розрахунку

1. Структура стада:

Дійні корови: 20 голів

Бички/великі на відгодівлі: 15 голів

Молодняк 6–12 міс.: 10 голів

Телята 2–6 міс.: 5 голів

2. Орієнтовна добова витрата концентрату (кг/гол/доба):

- дійні корови = 8 кг/доба
- бичків/відгодівля = 7 кг/доба
- молодняк 6–12 міс. = 4 кг/доба
- телята 2–6 міс. = 2 кг/доба

Рік = 365 днів.

3. Втрати [13]:

- розсипне - 7% (пил/розсипання/гризуни тощо),
- гранулят - 2%.

4. Базова ціна розсипного комбікорму – 19,5 грн/кг.

5. Розглядаємо ціну грануляту власного: 20,0 грн/кг.

6. Покращення ефективності (зниження фактичної біологічної потреби) при грануляті: сценарії 5%.

7. Ціна молока - 10 грн/л.

### 5.2 Обчислення базових величин [20]

1. Добова потреба:

$$P_d = 20 \cdot 8 + 15 \cdot 7 + 10 \cdot 4 + 5 \cdot 2 = 160 + 105 + 40 + 10 = 315 \text{ кг/доба.}$$

2. Річне споживання (біологічне, без втрат)

$$P_p = 315 \cdot 365 = 114975 \text{ кг/рік.}$$

3. Щоб отримати таке споживання з урахуванням втрат, потрібно виготовляти:

- для розсипного (7% втрат):

$$V_p = (114975 / (1 - 0,07)) = 114975 / 0,93 \approx 123634 \text{ кг/рік.}$$

- для грануляту (2% втрат):

$$V_r = 114975 / 0,98 \approx 117307 \text{ кг/рік.}$$

Ціни: розсипне - 19,5 грн/кг, гранулят - 20,0 грн/кг.

Покращення ефективності грануляту  $e = 5\%$  (тобто спожито  $\text{gran} = S \cdot (1 - e)$ ).

Закупівельна ціна молока  $C_m = 10$  грн/л.

Вартість комбікорму гранульованого:  $V_r = 117307 \cdot 20,0 = 2346140,0$  кг/рік.

Вартість розсипного:  $V_p = 123\,634 \cdot 19,5 = 2410863$  грн/рік.

### 5.3 Результати розрахунків

Обчислення проводимо для ціни грануляту 20,0 грн/кг і покращення  $e = 5\%$ . Вартість округлена до гривні.

Різниця у вартості комбікормів:

$$\Delta B = 2410863,0 - 2346140,0 \approx 64723,0 \text{ грн/рік.}$$

Порогова ефективність виробництва гранульованих кормів, %.

$$20 \cdot \frac{(1-e)}{0,98} = 19,5 \cdot \frac{S}{0,93};$$

дає поріг:

$$1 - e = \frac{19,5/0,93}{\frac{20,0}{0,98}} = 1 - 0,9747 = 2,53\%$$

Гранулят дає  $\geq 2,53\%$  зменшення фактичного споживання корму.

Гранульовані комбікорми будуть дешевшими за розсипні (економія  $\approx 64,723$  тис. грн/рік). Тобто гранулят вигідніший за розсипні комбікорми.

Таблиця 5.1 – Баланс гранульованого комбікорму

№ п/п	Показник	Комбікорми		Різниця між гранульованими та розсипними, ( $\pm$ )
		Розсипні	Гранульовані	
1	Ціна, грн/кг	18	22	+4
2	Втрати при роздачі та годівлі, %	7	2	-5
3	Об'єми вироблення, кг/рік	123634	117307	-6327
4	Вартість річної потреби, грн/рік	2410863,0	2346140,0	-64723,0
5	Зменшення фактичного споживання корму, %	-	-	-2,53

#### 5.4 Додаткові вигоди, які можуть компенсувати додаткові витрати

Щоб оцінити економічну доцільність, треба врахувати додаткові джерела вигоди від грануляту [6]:

1. Зниження витрат на робочу силу (менше розсипання, простіше годування) - умовно, скажімо 30 - 100 тис. грн/рік, залежно від організації.

2. Менше захворювань/краще гігієна кормів - важко кількісно, але може дати додаткові економії (ліки, падіж).

#### Висновки до п'ятого розділу

Зменшення фактичного споживання корму (через кращу перетравність, менші втрати, краще поїдання)  $e \approx 2,53$  робить гранулят рентабельним.

При  $e = 5\%$  гранульовані комбікорма дешевші від розсипних на  $\approx 64,723$  тис. грн/рік (тобто економія).

Крім того, є ще нефінансові та додаткові фактори, що вирішуються за рахунок гранулювання комбікормів:

- менше пилу, краща гігієна, менше розсипання та гризунів - знижують ризики і можуть давати додаткову економію (ліки, падіж, праця).

- зручність логістики, фасування, можливість продавати/використовувати на інших лініях - додаткова цінність.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Визначені необхідні об'єми кормів для середнього агропідприємства малих форм господарювання.

Проведений аналіз гранульованої продукції показав на актуальність її виробництва та застосування як в нашій країні, так і в усьому світі.

Проведена класифікація обладнання для виробництва гранул вказує на велику різноманітність даного обладнання та визначення доцільності вибору саме для агропідприємств малих форм господарювання.

Гранулювання кормів є важливим і широко застосовуваним технологічним процесом, що забезпечує отримання високоякісної продукції.

В результаті проведення розрахунків були визначені основні характеристики гранулятора із заданими параметрами, що забезпечить ефективність та економічність гранулювання кормів із зернових сумішок.

Підібраний по результатах розрахунків прототип гранулятора для подальших досліджень та удосконалень.

В результаті експериментальних досліджень було визначено, що для гранулювання кормів раціональні значення вологості та частоти становлять, відповідно,  $W = 14-16\%$  та  $n = 300-500 \text{ хв}^{-1}$ . Причому, при частоті  $300 \text{ хв}^{-1}$  досягаються мінімальні енергозатрати для вказаної вологості, а при  $500 \text{ хв}^{-1}$  – збільшення енергозатрат при значному підвищенні продуктивності. Підвищення частоти поряд із незначним зростанням продуктивності гранулятора призводить до підвищення крихкості гранул.

Зменшення фактичного споживання корму (через кращу перетравність, менші втрати, краще поїдання)  $e \approx 2,53$  робить гранулят рентабельним.

При  $e = 5\%$  гранульовані комбікорма дешевші від розсипних на  $\approx 64,723$  тис. грн/рік (тобто економія).

Крім того, є ще нефінансові та додаткові фактори, що вирішуються за рахунок гранулювання комбікормів: менше пилу, краща гігієна, менше розсипання та гризунів - знижують ризики і можуть давати додаткову економію (ліки, падіж, праця); зручність логістики, фасування та ін.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рентабельність виробництва молока. URL: [http:// agro\\_business.com.ua/agro/ekspertna\\_dumka/item/8169\\_rentabelnist\\_vyrobnytstva\\_moloka.html](http://agro_business.com.ua/agro/ekspertna_dumka/item/8169_rentabelnist_vyrobnytstva_moloka.html) (дата звернення 06.09.2025).
2. Беззуб І. Перспективи розвитку сімейних фермерських господарств в Україні. Центр досліджень соціальних комунікацій НБУВ. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=419:agropromislovij-sektor-2&catid=8&Itemid](http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=419:agropromislovij-sektor-2&catid=8&Itemid).
3. Paudel G. P., Rahut D. B., Justice S. E., Khatri-Chhetri A. Scale-appropriate farm mechanization for smallholders: impacts on productivity and livelihoods. *Journal of Rural Studies*. 2022. Vol. 93. P. 129–140.
4. FAO. Feed and fodder production for sustainable livestock systems in Eastern Europe: analytical review. Rome : FAO, 2023. 64 p.
5. Технологія кормів та кормових добавок: навчальний посібник / К.М. Сироватко, М.О. Зотько. - Вінниця: ВНАУ, 2020.- 263 с.
6. Петриченко О. Ефективність виробництва молока у сільськогосподарських підприємствах. Економічний дискурс. Міжнародний науковий журнал. 2018. Вип. 2. С. 62—72.
7. Дудник В., Саламаха О., Лисенко Ю. Практики годівлі корів у малих господарствах України. *Український журнал аграрних наук*. 2022. № 1. С. 45–53.
8. Месель-Веселяк В.Я. Форми господарювання в сільському господарстві України (результати, проблеми, вирішення) / В.Я. Месель-Веселяк // Економіка АПК. — 2021. — № 1. — С. 13—23
9. Коли годівля як вищий пілотаж - досвід "Торговий дім "Долинське". URL: [http://milku.info/uk/post/koli\\_godivla\\_ak\\_visij\\_pilotaz\\_dosvid\\_torgovij\\_dim\\_dolinske](http://milku.info/uk/post/koli_godivla_ak_visij_pilotaz_dosvid_torgovij_dim_dolinske)(дата звернення 10.05.2025).
10. Тваринництво. URL: <http://www.agroproduct.com.ua/uk/tvarinnictvo/> (дата звернення 10.09.2025).
11. Рентабельність виробництва молока. URL: [http://agro\\_business.com.ua/agro/ekspertna\\_dumka/item/8169\\_rentabelnist\\_vyrobnytstva\\_moloka.html](http://agro_business.com.ua/agro/ekspertna_dumka/item/8169_rentabelnist_vyrobnytstva_moloka.html) (дата звернення 06.09.2025).
12. Іваненко О.М., Пилипенко С.В. Сучасні технології виробництва комбікормів: обладнання, показники якості та інновації. Київ : НААН, 2021. 212 с.
13. Піскун В. П., Марчук О. В. Формування і обробка кормів для тварин: сучасні практичні рекомендації. Львів : ЛНАУ Прес, 2022. 148 с.

14. European Feed Manufacturers Federation (FEFAC). Виробництво комбікормів: сучасні технології та стандарти якості. Брюссель : FEFAC Publications, 2022. 118 с.
15. USDA-ERS. Виробництво кормів та переробка зерна: тенденції та підвищення ефективності. Вашингтон : USDA Economic Research Service, 2021. 76 с.
16. Єгоров Б.В., Батієвська Н.О. Технологічна ефективність удосконалення технології гранулювання // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2018. No 2. С. 10-16
17. <https://fermer.blog/bok/zhivotnye/krupnyu-rogatyu-skot-krs/kormlenie-korov/420-kombikorm-dlya-krs.html>
18. МОП. Безпека та охорона праці в сільському господарстві: глобальний кодекс практики. Женева : International Labour Organization, 2021. 92 с.
19. Мілостивий Р. В., Ковальчук С. І. Охорона праці та оптимізація навколишнього середовища в агропромисловому виробництві. Київ : Агросейфіті Паблішинг, 2023. 256 с.
20. Тарельник Н.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Техніко-економічне обґрунтування магістерської роботи. Для спеціальності 208 «Агроінженерія». Суми: СНАУ, 2020.-20с.
21. Rahman M. R. T., Islam M. M. Alternatives to antibiotic growth promoters in poultry diets: recent approaches and outcomes. *Veterinary and Animal Science*. 2022. Vol. 17. Article 100247.
22. Bello A., Yildiz G., Angel C. Application of enzyme matrix values to reduce nutrient variability in poultry diets. *Animal Feed Science and Technology*. 2023. Vol. 302. 115741.
23. Anderson J., Zhang L. Functional properties of soybean by-products in feed processing and pellet quality formation. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 99. 103937.
24. Yu L., Huang W. Low-molecular-weight glutenin subunits and their influence on cereal processing quality: updated review. *Cereal Chemistry*. 2020. Vol. 97 (3). P. 560–573.
25. Leticia S., Fernanda G., Adriana M. Efficacy of Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics on Laying Hens and Broilers Challenged with Salmonella Enteritidis // *Journal of Poultry Science*. 2015. №52 (1). P. 52 – 56.5.

## **ДОДАТКИ**

Матриця гранулятора гранулятора



Гранульовані концкорми



## Вимоги до органолептичних показників кормових гранул

Найменування показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	Щільні багатогранні частки подрібнених гранул без сторонніх домішок і слідів цвілі, що не сліпаються між собою;
Колір	Від сірого до коричневого, відповідно до кольору комбікорму компонентів, що входять в рецепт;
Запах	Власний набору компонентів комбікорму, що входять в рецепт; без затхлого, цвілі та інших сторонніх запахів;
*При додаванні барвників та ароматизаторів колір та запах комбікормової крупки повинен відповідати кольору і запаху використовуваного барвника та ароматизатора.	

Активаци  
Чтобы актив  
"Параметры"