

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу гранулювання комбікормів із обґрунтуванням параметрів прес-гранулятора»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОСВм- 22
спеціальності 133 Галузе
машинобудування
за освітньо-професійною
програмою «Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»

Миколайчук С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Тарасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пуць В.С.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<u>аграрних технологій та екології</u>
Кафедра	<u>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</u>
Галузь знань	<u>13 Механічна інженерія</u>
Освітній ступінь	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>133 Галузеве машинобудування</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Миколайчуку Сергію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу гранулювання комбикормів із
обґрунтуванням параметрів прес-гранулятора
керівник роботи Сацюк Василь Васильович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Луцького НТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основна частина.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	-1 лист
2. Конструктивні особливості вузлів аналогів	-1 лист
3. Теоретичні положення	-1 лист
4. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	-1 лист
5. Кінематична схема досліджуваної машини	-1 лист
6. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	-1 лист
7. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	-1 лист
8. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	-1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10.	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11.	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Миколайчук С.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПШ

_____ (підпис)

Тарасюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Миколайчук С.В. - Дослідження процесу гранулювання комбікормів із обґрунтуванням параметрів прес-гранулятора. Рукопис

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 67 сторінок, включає 16 рисунків, 6 таблиці, список використаних джерел з 14 назв та 2 додатки.

В кваліфікаційній роботі магістра досліджено процес гранулювання комбікормів та обґрунтовано параметри прес гранулятора.

Розроблена принципова та кінематична схеми гранулятора комбікормів, складальне креслення прес-гранулятора.

Представлені теоретичні дослідження процесу гранулювання комбікормів, досліджено енергозатрати на приготування комбікормів.

Мета дослідження – зменшення енергозатрат на процес гранулювання комбікормів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів прес-гранулятора.

Об'єкт досліджень – технологічний гранулювання комбікормів.

Предмет дослідження – закономірності зміни енергозатрат на процес гранулювання комбікормів від конструктивно-технологічних параметрів

ПРЕС-ГРАНУЛЯТОР, КОМБІКОРМ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, КРУТНИЙ МОМЕНТ, ГРАНУЛА, МІЦНІСТЬ.

ABSTRACT

Qualification work of the master of educational program «Machines and equipment of agricultural production» specialty 133 Industrial engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023

Qualification work of the master consists of an introduction, four sections, conclusions, list of sources used, appendices. The total volume of the work is 67 pages, includes 1624 figures, 6 tables, a list of sources used with 14 titles and 2 appendices.

In the master's qualification work, the process of compound feed granulation was investigated and the parameters of the granulator press were substantiated.

The principle and kinematic schemes of the compound feed granulator, assembly drawing of the press granulator have been developed.

Theoretical studies of the compound feed granulation process are presented, the energy consumption for the preparation of compound feed is investigated.

The purpose of the research is to reduce the energy consumption of the compound feed granulation process by substantiating the structural and technological parameters of the press granulator.

The object of research is the technological granulation of compound feed.

The subject of the study is the patterns of changes in energy consumption for the process of granulation of compound feed depending on the structural and technological parameters

PRESS GRANULATOR, COMBINED FEED, PRODUCTIVITY, TORQUE, GRANULATOR, STRENGTH.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	9
1.1. Переваги гранульованих кормів.....	9
1.2. Характеристика сировини для приготування гранульованих комбікормів.....	10
1.3. Аналіз конструкцій грануляторів кормів	11
1.4. Теоретичні дослідження грануляторів	18
1.5. Постановка питання, мета та завдання дослідження	20
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1. Обґрунтування принципової схеми гранулятора	21
2.2. Силовий розрахунок прес-гранулятора.....	26
2.3. Розрахунок зубчастої передачі.....	28
Висновки.....	39
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	40
3.1 Прилади та обладнання для проведення досліджень.....	40
3.2 Методика визначення енергозатрат на гранулювання комбікорму...	42
3.3. Методика проведення багатofакторного експерименту	44
3.4. Результати дослідження енергоємності процесу гранулювання з використанням математичного методу планування експерименту.....	48
3.5. Висновки.....	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
4.1 Класифікація виробництва.....	51
4.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпеки життєдіяльності.....	52
4.3. Розрахунок вентиляції.....	58
4.4. Висновки	63

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Тваринництво являється основою для виробництва якісної харчової продукції. Розвиток галузі тваринництва вимагає створення належної кормової бази. Під час виробництва м'яса і та молока частка кормів у собівартості продукції становить 60...75 %.

Раціональна годівля сільськогосподарських тварин багато в чому визначає їх ріст, розвиток і продуктивність.

Гранульовані корми мають ряд переваг у порівнянні із розсипними кормами а саме: виключають вибіркоче поїдання окремих компонентів раціону; виключають самосепарацію корму при його транспортуванні та роздаванні; не спричиняють утворення пилоподібних та інших відходів, які забруднюють повітря, годівниці та збільшують втрати корму; потребують менше складських приміщень та об'єму транспортних засобі; забезпечують зменшення втрат поживних речовин та каротину при зберіганні.

Мета дослідження – зменшення енергозатрат на процес гранулювання комбікормів шляхом обґрунтування параметрів прес-гранулятора

Об'єкт досліджень – технологічний гранулювання комбікормів.

Предмет дослідження – закономірності зміни енергозатрат на процес гранулювання комбікормів від конструктивно-технологічних параметрів гранулятора.

Задачі дослідження :

- провести аналіз грануляторів, які використовуються для гранулювання комбікормів;
- розробити принципову схему гранулятора комбікормів;
- розробити складальне креслення прес-гранулятора;
- провести силовий розрахунок прес гранулятора;

- провести експериментальні дослідження гранулятора комбікормів та дослідити вплив конструктивно-технологічних параметрів гранулятора на енергозатрати.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів класичної механіки з використанням програми Mathcad 15. Лабораторні дослідження проводились за розробленими методиками. Багатофакторний експеримент проводили із використанням симетричного не композиційного плану Бокса-Бенкена другого порядку.

Практичне значення одержаних результатів. Досліджено процес енергозатрат на виробництво гранульованих комбікормів. Розроблено складальне креслення прес гранулятора.

Апробація результатів дослідження. Основні положення досліджень, які містяться кваліфікаційній роботі магістра, доповідались та обговорювались на III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк, ЛНТУ, 2023.

За темою кваліфікаційної роботи автором опубліковано тези доповідей тези доповіді III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк, ЛНТУ, 2023.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, список використаних джерел з 14 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи 67 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1. Переваги гранульованих кормів

Дослідження, щодо засвоєння гранульованих кормів великою рогатою худобою важливе значення має розмір гранул. Корови задовільно поїдають малі, та великі гранули діаметром в межах 13...20 мм, у той же час молодняк великої рогатої худоби краще споживає гранули діаметром в межах 16...25 мм.

Слід відмітити те, що курчата найкраще їдять гранули діаметр яких становить до 3 мм, а доросла птиця курей гранули діаметром до 5 мм.

Окрім того комбікорми мають ряд переваг у порівнянні із розсипними. Слід виділити такі переваги гранульованих комбікормів: виключення вибіркового поїдання окремих компонентів раціону, забезпечення підвищення рівня засвоюваності поживних речовин гранульованого корму; виключення самосепарацію корму під час транспортування та роздачі; забезпечення зменшення втрат поживних каротину та речовин при зберіганні; зростання надоїв молока та збільшення вмісту жиру у молоці. [1, 2].

При згодовуванні гранульованих комбікормів поросяткам спостерігаються більші прирости живої маси тварин у порівнянні із використанням розсипчастих кормових сумішей. Встановлено, що відгодівля свиней дозволяє скоротити термін відгодівлі на 15-28 днів при застосуванні гранульованих комбікормів [2]. Гранулювання покращує збереження поживних речовин корму, зокрема амінокислот і вітамінів. Втрати поживних речовин у гранульованих кормах не перевищують 2-5 %. Цей показник у 3-5 разів менше ніж втрати при силосуванні кормів [1-3].

Використання гранульованих кормів забезпечує автоматизацію процесу годівлі тварин, що в свою чергу дозволяє застосовувати фізіологічно

обґрунтовані режими годівлі, Якість гранул залежать від ряду таких факторів факторів: коефіцієнтів тертя складових суміші, щільності, розміру частинок і їх вологості, [5].

Виготовлення гранул діаметром розмір яких є менший від 5 мм являється надзвичайно енергомістким процесом. Поряд з цим відбувається різке зниження продуктивність гранулятора, при виготовленні гранул діаметр яких 4,7 мм на 25 %, а діаметром 3,2 мм зменшення продуктивності на на 50 %, [5].

1.2. Характеристика сировини для приготування гранульованих комбікормів

Зерно злакових культур містить у собі 8-16 % білка, та до 70 % вуглеводів і невелику кількості (2... 6 %) жиру та мінеральних речовин (1,5... 4 %). Для виготовлення комбікормі основними злаковими культурами є ячмінь кукурудза та пшеницю. Окрім того, інколи можуть використовувати також овес та жито.

Об'ємна маса зерна ячменю рівна 480-680 кг/м³. Ячмінь являється найбільш широко використовуваним з усіх зернових культур при годівлі сільськогосподарських тварин. Зерна ячменю містять біля 86 % сухої речовини, у тому числі клітковини - 4,0 %, протеїну - 10,1 %, БЕР - 68,0 %, жиру - 2,2 %, Поживна цінність 1 кг ячменя складає біля 1,21 кормових одиниць. Перетравність органічних речовин для ячменю близько 89 % [11, 12].

Об'ємний маса зерна кукурудзи рівна становить 600-850 кг/м³. Кукурудза має високий вміст вуглеводів, головним чином, крохмалю. За хімічним складом зерна кукурудзи містять біля 85 % сухої речовини, в тому числі білка, 4,0-4,7 %, 8,5-11,2 % жиру, та 2,5-4,3 % клітковини. Перетравність тваринами органічних речовин зерна 90 %. У 1 кг зерна кукурудзи міститься в межах 1,34-1,5 кормових одиниць. У перерахунку на 1 кормову одиницю припадає 57-60 г перетравного протеїну.

Об'ємна маса зерна пшениці рівна 730- 850 кг/м³. Зерно озимої пшениці фуражної кондиції містить 86,7-88,0 % сухих речовин, 12,7 - 16,2 % білку, 2,5-2,7 % жиру, 67,2-75,8 % БЕР та 1,8 % золи.

Поживна цінність 1 кг зерна пшениці рівна 1,2-1,4 кормових одиниць і містить 117 г перетравного білка [11, 12].

Об'ємна маса зерна овесу становить 300-550 кг/м³. Овес являється дієтичний корм для тварин, який використовують для годівлі молодняка сільськогосподарських тварин. Зерно овесу За хімічним складом овес містить 86, % сухих речовин, у тому числі жиру, 9,4-9,8, %, 10,8-11,8 %, білку, 4,7-5,6 % клітковини. Перетравність органічних для овесу речовини – 70 %. У 1 кг вівса 1,0 кормова одиниця і 85 г перетравного білка [11, 12].

Об'ємна маса зерна жита рівна 670- 750кг/м³. Зерно жита містить 85,0-87,0 % сухих речовин, у тому числі жиру - 1,8-2,0 %, протеїну- 12,3-14,0 %, клітковини - 2,4 %, Поживна цінність 1 кг зерна жита становить 1,18- 1,33 кормової одиниці [11, 12],

1.3. Аналіз конструкцій грануляторів кормів

Гранулятори кормів залежно від типу робочих органів можна поділити на: вальцеві (прокочуючого типу); видавлюючого типу із формуванням брикетів у каналі пресування брикетів (матриця кільцева або пласка); формуючого типу у закритому каналі переміщення (штемпельні і поршневі), в тому числі за допомогою механізмів протитиску (до них відносяться екструдери, шнекові преси).

Основні типи конструкцій грануляторів застосовані і виробництві кормової суміші наведено на рисунку 1.3.

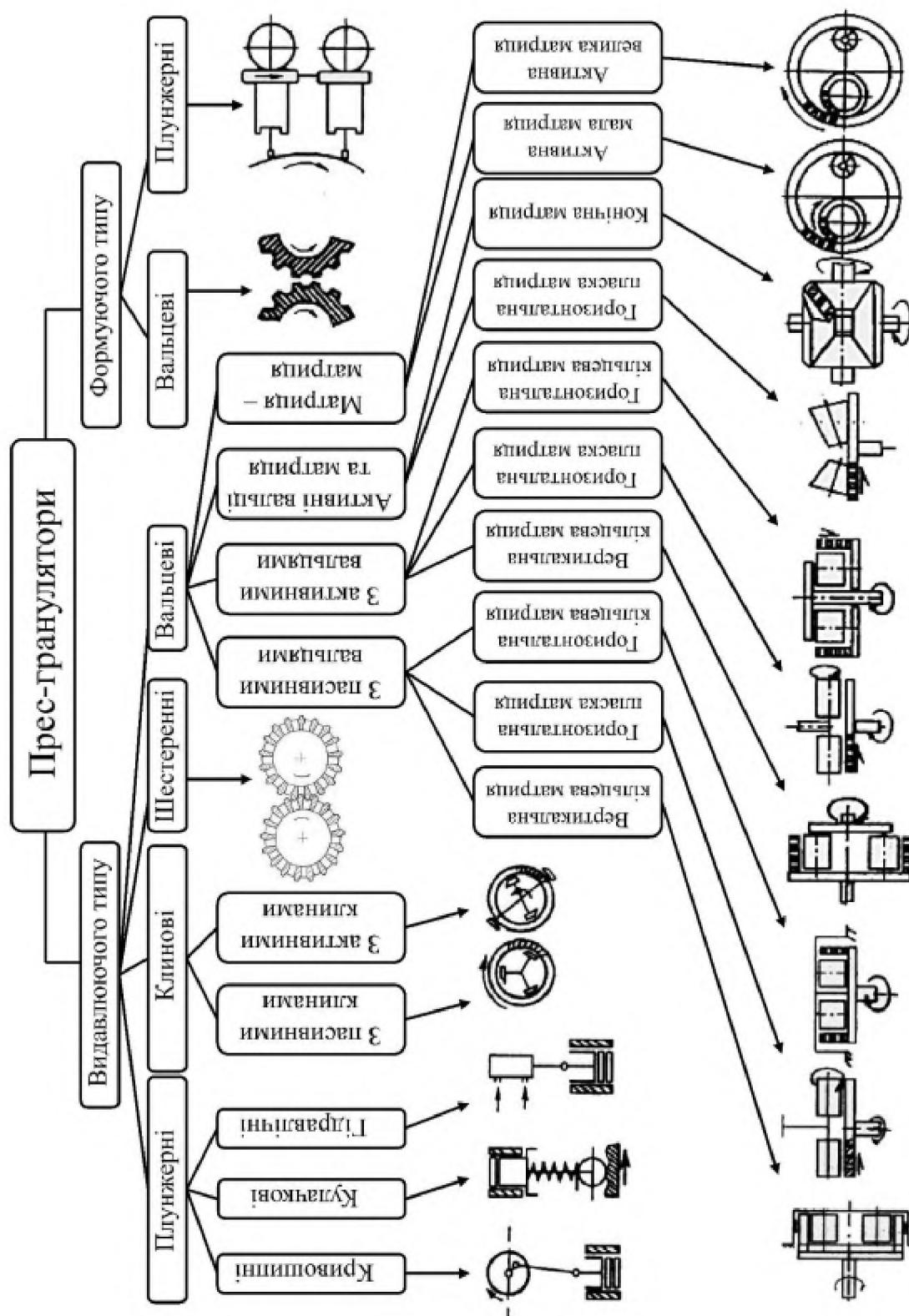


Рисунок 1.3 Класифікація грануляторів

Конструкція прес-грануляторів розділена на 5 груп. До першої належать прес-гранулятори, у яких гранули формуються у спеціальних лунках, сконструйованих на поверхні валків, що обертаються у напрямі зустрічному

один до одного. У таких лунках, матеріал, спочатку стискається, одночасно пересуваючись, а потім випадає. Пристрої із такою конструкцією не мають достатньої міцності.

До другої групи входять гранулятори шестеренного типу. В даних грануляторах, матеріал поданий в порожнину між шестернями, втискається голівкою зуба в канал переміщення, протитиск у стиснутому матеріалі створюється силами тертя. Гранули, що витискаються з каналу пресування, обрізуються не рухомим ножом. Шестеренні прес-гранулятори найчастіше утворюють гранули діаметром приблизно 10...14 мм. Шестеренні прес-гранулятори не достатньо досліджені, в тому числі не достатньо обґрунтовані їх параметри.

Третя група - преси, із не рухомими матрицями, у яких є отвори відповідного діаметру, через які шнек продавлює сировину. Сформовані гранули у такому грануляторі відокремлюються ножом. Преси із не рухомими матрицями застосовують в основному для комбікормів при вологому пресуванні. Такі гранулятори вимагають додаткового осушення, також преси із не рухомими матрицями є малопродуктивні.

Четверта група грануляторів - прес-гранулятори, обладнані горизонтальними плоскими матрицями. Гранули видавлюються з каналів пресування за допомогою роликів, що обертаються. На таких пресах характерним є значне зношення робочих вузлів, оскільки дія відцентрових сил відкидає спресований матеріал до периферії робочої матриці, через що на поверхні матриці порушується рівномірність навантаження. Преси-гранулятори найбільш поширені. Вони мають вертикальні або горизонтальні обертові кільцеві матриці, що мають радіальні отвори. Вихідна сировина, після того як потрапить в камеру для пресування, направляється скребком в проміжок між поверхнею обертової матриці й пресуючими роликами, що над матрицею. Ролики проштовхують матеріал через канали виконані у матриці де відбувається пресування. Після цього гранули обламуються ножом. Однак такі преси мають ряд недоліків, а саме [1, 2]:

- не повністю використовується робочі поверхні матриць під канали пресування, оскільки їх сумарний переріз становить не більше 40 %;
- виникає надмірний тиск для зсуву стисненої кормової суміші з перемичок в матричні канали;
- значні витрати електроенергії на впресовування шару корму в канали пресування, при якому проходить руйнування частинок матеріалу ;
- підвищені затрати електроенергії на процес впресовування шару корму у канали пресування, при якому відбувається руйнування частинок матеріалу краєм фільтри;
- нагрівання при зсуві частинок корму із перемичок фільтрів під дією високого тиску, а також відбувається втрата тепла у навколишнє середовище.

Максимально поширеними у промисловості є брикетні преси із штемпельними робочими органами, що мають відкриті канали пресування. Брикетні преси створюють брикети високої якості, тому що сировина менше подрібнюється та відбувається більш тривала витримка брикетів у стисненому стані. Енергоємність пресування у брикетних пресах становить (до 22,5 кДж/кг) . Недоліком брикетних пресів є мала пропускну здатність, тому що пропускну здатність залежить від кількості каналів пресування та їх поперечного січення, а також частота ходів штемпеля. Порівняно брикетні преси мають значну матеріаломісткість. Найчастіше брикетні преси із штемпельними робочими органами застосовують при ущільненні грубих кормів. Промислові сучасні прес-гранулятори десь виробляють такі закордонні виробники: «Sprout-Bayer», «Sprout-Matador», «Van Aarsen», «BUHLER», «Agrotekhnolodzhi» (рисунок 1.4-1.7).



Рисунок 1.4 Гранулятор кормів PMV515W фірми «Sprout-Matador»



Рисунок 1.5 Гранулятор «Компакт» 750 фірми «Van Aarsen» (Нідерланди)



Рисунок 1.6 Прес-гранулятори серії «Прогресс» фірми «Agrotekhnolodzhi» (Данія)



Рисунок 1.7 Прес-гранулятори серії «НВ» фірми «Agrotekhnolodzhi» (Данія)

Технічні характеристики та параметри грануляторів різних виробників наведені в таблицях 1.1-1.4.

Таблиці 1.1 – Основні параметри окремих моделей прес-грануляторів РМV та РМ фірми «Sprout-Matador».

Показники	Тип гранулятора			
	PM615W	PMV2	PM707W	PMV515W
Основний ел. двигун: потужність, кВт	200,0	30	250,0	110,0
Продуктивність, т/год	13... 16	2,2... 3,2	16... 40	6... 22
Частота обертання, хв. ⁻¹	990	900	1450	990
Матриця: внутрішній діаметр, мм	500	300	700	630
Ефективна ширина, мм	160	60	180(240)	150
Ефективна площа, м ²	0,3 (0,37)	0,06	0,4 (0,55)	0,25
Колова швидкість, м/с	6,5 / 7,8	4,2	3,6 / 5,6	6,2
Прес-ролики: кількість, од.	2	2	3	2
Загальна маса, кг	3310	955	8510	04510

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики моделей прес-грануляторів «Компакт» фірми «Van Aarsen»

Показники	КОМПАКТ			
	900	750	600	500
Потужність основного ел. двигуна при частоті обертання 1450 хв.-1 , кВт	200-315	132-200	90-132	75-110
Матриця: внутрішній діаметр, мм	900	750	600	500
ефективна ширина, мм	250	225-215	190-220	160
ефективна площа, м ²	0.59-0.64	0.43-0.51	0.29-0.38	0.25
частота обертання, хв.-1	140 / 148	132 / 148	158 / 198	215 / 268
Лінійна швидкість матриці, м/с	7,2	6,4-5,0	7,2-4,8	4,7
Діаметр пресуючих роликів, мм	436	362	288	242

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика грануляторів комбікорму серії «Прогресс»

Тип	Потужність ел. двигуна, кВт	Діаметр ролика, мм	Кількість роликів, од	Діаметр матриці, мм	Розміри матриці (ширина), мм	Загальна маса, кг	Розміри матриці (площа), см ²
280	22/30	130	3	282	62	1710	528
580	2/75	266	2-3	582	152	6100	2735
650BC	2/90	300	2-3	652	176	7100	3575
700	2/90	316	2-3	705	192	7100	4178
850	2/132	392	2-3	855	212	7600	5608
1100	1100 2×315	505	2-3	1110	300	18600	10360
1100B C	2×315	505	2-3	1100	385	18600	13124

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика грануляторів комбікорму серії «НВ»

Тип	Потужність ел. двигуна, кВт	Діаметр ролика, мм	Кількість роликів, од	Діаметр матриці, мм	Маса без двигуна, кг	Розміри матриці (площа), см ²
280	22,0	126	3	282	610	528
350	55	160	3	352	1310	936
450	110	206	3	452	2100	1556
580	580 132	266	3	582	2450	2734

1.4. Теоретичні дослідження грануляторів

Для порівняльного аналізу робочих органів розглянемо різні схеми прес-грануляторів, які діють на матеріал плунжерним методом. Розглянемо варіанти конструктивних схем:

- два однакових розміру колеса-матриці.
- одне велике колесо-матриця та одне менше пресуюче колесо.
- зовнішня матриця з внутрішнім пресуючим валом.
- зовнішня матриця з двома внутрішніми пресуючими валами.

Перша конфігурація пресу має обмеження із точки зору геометрії зчеплення двох коліс. Поверхня контакту в цьому випадку еквівалентна довжині двох коліс. Максимальне значення, яке можна використати при розрахунку каналів пресування - це розмір каналу пресування, який дорівнює довжині дуги ділильного кола. У такому випадку максимальна кількість каналів пресування, або загальний коефіцієнт використання живого перерізу каналів пресування K_1 , становить максимум 50%. Тому, критерій оцінки продуктивності визначається таким чином:

$$P_1 = 2DK_1q = Dq \quad (1.1)$$

Для отримання такої ж робочої площі у другому варіанті з великим колесом-матрицею та малим пресуючим колесом потрібно подвоїти його

діаметр. Однак у відсотковому співвідношенні канали пресування можуть займати лише до 75% від загальної площі колеса. Такий метод фрезерування зубчастого вінця гарантує виконання критерію оцінки продуктивності [11, 12]:

$$\Pi_2 = 2DK_2q = 1,5Dq \quad (1.2)$$

Третій варіант відповідає попередньому. Однак, якщо внутрішній вінець матриці буде мати повне загострення голівок зубів, це призведе до залучення матеріалу у зоні стиснення до всієї робочої поверхні матриці. Тобто, $K_3 = 100\%$, тоді [11, 12]:

$$\Pi_3 = 2DK_3q = 2Dq \quad (1.3)$$

Четвертий варіант включає додаткову взаємодію з другим вальцем. Це призводить до формування гранул меншого розміру, але цей процес відбувається швидше. Матеріал перебуває під максимальним тиском тривалий час, що сприяє його швидкому ущільненню.

Швидке зменшення напруг у гранулі прискорює релаксацію матеріалу і може підвищити продуктивність преса на 15...20% [15, 16]. Отже, геометричний коефіцієнт живого перерізу може досягати 100%, а додатковий - навіть 15%.

У такому випадку:

$$\Pi_4 = 2DK_4q = 2,3Dq \quad (1.4)$$

Як зазначалося раніше, довжина каналу пресування варіювала від 5 до 8 діаметрів гранули або в певних пропорціях до радіусу. Наприклад, для базового значення діаметру 300 мм і гранули діаметром 10 мм це становить приблизно 1/6 діаметру матриці. Довжина каналу пресування або ширина кільця була визначена як $h = 1/3$ радіусу.

Для одного внутрішнього вальця його радіус був встановлений на рівні 2/3 від початкового радіусу матриці. Радіус трьох інших внутрішніх вальців становив 1/3 від радіусу матриці. Тому для оцінки матеріаломісткості в різних схемах використовують такі відношення [11, 12]:

$$S_1 = 4\pi R^2 / 3 \quad (1.5)$$

$$S_2 = 4\pi R^2 / 3 + 4\pi R^2 / 9 \quad (1.6)$$

$$S_3 = 4\pi R^2 / 3 + 4\pi R^2 / 9 \quad (1.7)$$

$$S_4 = 4\pi R^2 / 3 + 3\pi R^2 / 9 \quad (1.8)$$

1.5. Постановка питання, мета та завдання дослідження

Тваринництво являється основою для виробництва якісної харчової продукції. Розвиток галузі тваринництва вимагає створення належної кормової бази. Під час виробництва м'яса і та молока частка кормів у собівартості продукції становить 60...75 %.

Раціональна годівля сільськогосподарських тварин багато в чому визначає їх ріст, розвиток і продуктивність.

Задачі дослідження :

- провести аналіз грануляторів, які використовуються для гранулювання комбікормів;
- розробити принципову схему гранулятора комбікормів;
- розробити складальне креслення прес-гранулятора;
- провести силовий розрахунок прес гранулятора;
- провести експериментальні дослідження гранулятора комбікормів та дослідити вплив конструктивно-технологічних параметрів гранулятора на енергозатрати.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування принципової схеми гранулятора

Гранулятор комбікорму призначений для гранулювання комбікормів із одночасним введенням меляси та жиру. Установка також застосовується для гранулювання трав'яної муки. Розробимо конструкцію та принцип роботи гранулятора комбікорму.

Розсипні комбікорми подаються у живильник живильник-змішувач гранулятора, туди ж подається пар, жир та меляса. Отримана суміш гранулюється у грануляторі. Гранули охолоджуються у охолоджувальній колонці після цього потоком повітря що створене вентилятором подаються на подрібнення з метою отримання крупки, або проходять в обхід валків та подаються в сепаратор.

У сепараторі здійснюється сепарування гранул за розміром та здійснюється поділ на фракції.

Гранулятор (рисунок 2.1) складається із таких основних складових одиниць: прес гранулятор 1, живильника-змішувача 2, механізмів подачі меляси та жиру 3 та підйомника матриць 4.

Живильник-змішувач містить зварний корпус, у верхній частині якого встановлено шнек 2, який призначений для дозування та подачі розсипних компонентів комбікормів у змішувач. Шнек приєднується до приводу за допомогою через запобіжну муфту. За необхідності можна відключити привід вручну живильника змішувача вручну.

Шляхом зміни швидкості регулюється кількість комбікормів, яка подаються у змішувач гранулятора.

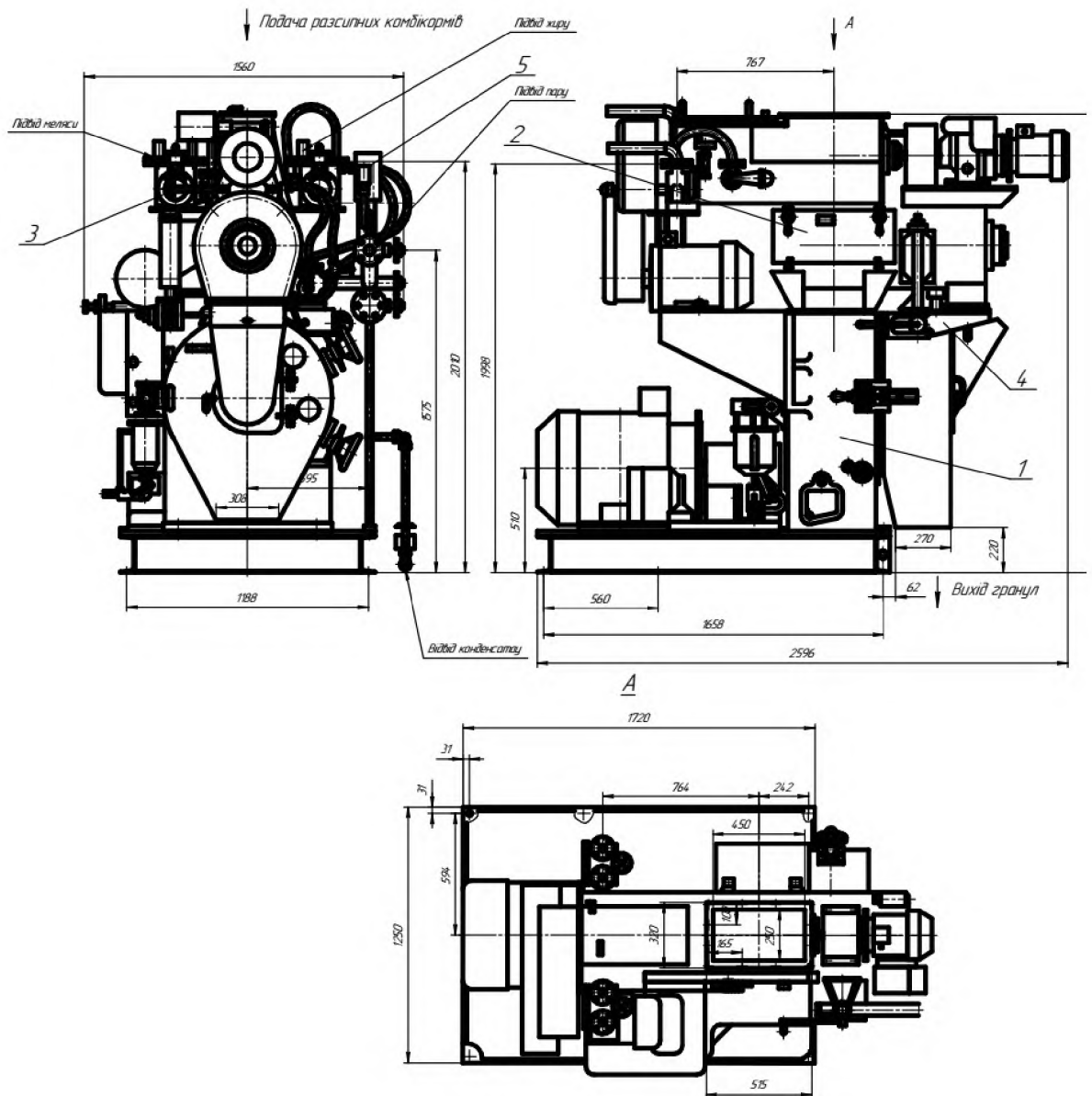


Рисунок 2.1- Загальний вигляд гранулятора комбікормів

У верхній частині корпусу змонтоване вікно для завантаження продукту у люк, який закритий кришкою. Знімний фланець призначений для монтажу і демонтажу шнека. Привод дозаторів жиру та м'яси здійснюється за допомогою ланцюговою передачею від валу шнека.

Дозатори подають жир та м'ясу трубопроводами у форсунку, туди ж подається пара для розпилення жиру та м'яси і.

У нижній частині корпусу встановлений вал змішувача із поворотними лопатками. Лопатки встановлено так, щоб відбувалося ретельне

перемішування продукту і одночасне транспортування його до завантажувального вікна у гранулятор із необхідною продуктивністю.

Вал змішувача приводиться в дію від електродвигуна, що встановлений встановленого на кронштейні прес гранулятора, через клинопасову передачу до шківів.

На задній стінці змішувача-живильника встановлений колектор для підведення пари, який з'єднаний штуцерами із корпусом.

У зоні виходу продукту із живильника-змішувача встановлено датчик термометра, який призначений для автоматичного регулювання подачі пари у змішувач.

Люк, який служить для очищення внутрішньої порожнини, з'єднаний із кінцевим вимикачем.

Кінцевий вимикач, розташований біля вікна вивантаження та дозволяє включати прес гранулятор лише у випадку, коли секція пресування закрита дверцятами.

Кінцевий вимикач, розташований біля запобіжної муфти та відключає привід живильника під час перевантаження живильника. Кронштейн призначений для підвішування матриць підйомника.

Прес-гранулятор (рисунок 2.2) складається із електродвигуна редуктора, які з'єднаних між собою пружною втулково-пальцевою муфтою та закріплені на зварній рамі.

У редукторі за допомогою циліндричної передачі обертання передається до планшайби. В середині планшайби проходить центральна вісь прес гранулятора.

На хвостовик нагвинчена гайка, якою регулюються зазори у підшипниках.

У випадку перевантаження та заклинювання матриці, яка закріпленої на планшайбі, із роликками, встановленими на головці осі, за рахунок збільшення зусилля відбувається зрізання запобіжних штифтів. Нерухома вісь

разом із фланцем прокручується, діє на ролик кінцевого вимикача при цьому відключаються всі електродвигуни гранулятора.

Матриця кріпиться до планшайби секторами за допомогою болтів. До торця матриці хомутом кріпиться конус який подає продукт.

Для забезпечення роботи секції прес гранулятора ролики повинні бути підвішені до внутрішньої поверхні матриці таким чином, щоб при обертанні матриці також оберталися і ролики. Для цього шляхом обертанням гвинта необхідно повертати важіль до тих пір, доки обичайка ролика не буде у легкому контакті із матрицею.

Скребок призначений для знімання продукту із конуса та подачі його у зону пресування правого ролика. Два скребки необхідні для очищення стінок планшайби. Зона пресування гранулятора закрита дверцятами.

До дверцят на шарнірі кріпиться лійка, через яку у прес-гранулятор подається продукт зі змішувача. У верхній частині є люк, який закритий кришкою, що служить для відбору проб продукту та для завантаження продукту.

Фланець воронки у робочому положенні натискає на кінцевий вимикач, який встановлений на корпусі змішувача. При відкриванні дверцят із воронкою вимикається живлення усіх електродвигунів гранулятора.

На дверцятах встановлено два регульованих ножа для обламування гранул. Переміщення ножів відбувається обертанням маховиків та фіксується гайкою.

На торцевій стінці дверцята є люки для спостереження за положенням ножів під час їх регулювання.

У верхній частині дверцята змонтований патрубков для виходу пари із зони пресування. У корпус редуктора прес гранулятора через отвір, закритий пробкою, заливається масло. Контроль рівня оливи у редукторі здійснюється за допомогою масло вказівника. Маслорозбризкувач призначений для створення в корпусі редуктора масляного туману.

Дозатори призначені для подачі необхідної кількості жиру та меляси у розсипні комбікорми перед їх гранулюванням.

Зірочка, яка вільно встановлена на капроновій втулці, приєднується до ротора за допомогою кулачкової муфти під час натискання на кнопку та її повороті.

У роторі є чотири перпендикулярно розташовані отвори, у які вставлені 2 поршня, внутрішніми вирізами насаджені на хрестовину, яка здійснює ексцентричне зміщення поршнів щодо корпусу. Ексцентричне зміщення здійснюється так: при обертанні маховика коромисло через тяги та важелі повертають у різні сторони ексцентричну вісь та втулку. При цьому ексцентриситети заслинюються.

Електроустаткування призначене для ручного і автоматичного керування гранулятором охолоджувачем, подрібнювачем і сепаратором.

Електроустаткування складається із асинхронних трифазних двигунів, панелі керування, шафи приладів, датчиків рівня, регулятора швидкості, запірною вентиля, регулюючого клапана.

2.2. Силовий розрахунок прес-гранулятора

Розраховується привід прес-гранулятора, що складається із асинхронного трифазного електродвигуна, муфти і одноступінчастого циліндричного редуктора із косозубою передачею. Ведучий вал редуктора виконаний у вигляді вал-шестерні, зубчасте колесо кріпиться на веденому валу через маточину на призматичні шпонці.

Вихідні дані для розрахунку:

Потужність на валу робочого органу $N_2 = 80$ кВт

Частота обертання робочого органу $n_2 = 3,7$ об / с (222 об / хв).

Вибираємо одноступінчастий вертикальний циліндричний редуктор із косозубими колесами.

Потужність на валу електродвигуна становить:

$$N_1 = \frac{N_1}{\eta_3 \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

де η_3 – ККД зубчастої передачі $\eta_3 = 0,93$,

η_m – ККД муфти $\eta_m = 0,98$,

$\eta_{\text{п}}$ – ККД підшипників $\eta_{\text{п}} = 0,99$.

Підставивши числові данні, отримаємо:

$$N_1 = \frac{80}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 88,7 \text{ кВт}.$$

Для приводу вибираємо електродвигун АМУ280М4 із такими параметрами:

$$N = 90 \text{ кВт}, \quad n = 1470 \text{ об/хв}, \quad \eta = 0,933, \quad d_b = 75 \text{ мм},$$

$$M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,6 \dots 2,5, M_{\text{max}} / M_{\text{ном}} = 2,5 \dots 3,5, m = 560 \text{ кг}.$$

Моменти обертання на валах рівні:

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{30 \cdot N_1}{\pi \cdot n_1} \quad (2.2)$$

де ω_1 – кутові швидкості обертання вала рад/с.

$$M_1 = \frac{30 \cdot 88,7 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1470} = 576 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{N_2}{\omega_2} = \frac{30 \cdot N_2}{\pi \cdot n_2} \quad (2.3)$$

де ω_2 – кутові швидкості обертання вала рад/с.

$$M_2 = \frac{30 \cdot 80 \cdot 10^3}{\pi \cdot 222} 3440 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

2.3. Розрахунок зубчастої передачі

Передатне відношення передачі становить:

$$u_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1470}{222} = 6,62. \quad (2.4)$$

Приймаємо із стандартного ряду $u_{12} = 6,3$.

Тоді

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{12}} = \frac{1470}{6,3} = 233 \text{ об / хв}, \quad (2.5)$$

$$M_2 = \frac{30 \cdot 80 \cdot 10^3}{\pi \cdot 233} = 3270 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.6)$$

Матеріал та термічна обробка коліс: Зубчасте колесо виготовляємо – сталь 45, термообробка – нормалізація та покращення. Твердість $HB_2 = 179/207$. $HB_{2cp} = 193$.

Для шестірні косозубої передачі буде:

$$HB_{1cp} \approx HB_{2cp} + (50 / 70) = 249/269. \quad (2.7)$$

Приймаємо матеріал сталь 35ХМ, термообробка – нормалізація та покращення. Відповідно твердість $HB_1 = 235/262$. $HB_{2cp} = 249$

Межа контактної витривалості для сталі вуглецевої та легованої при $HB \leq 350$ становить:

$$\sigma_{Hlimb} = 2 \times HB + 70, \text{ МПа} \quad (2.8)$$

$$\sigma_{H \text{ lim } b1} = 2 \cdot 249 + 70 = 568. \quad (2.9)$$

$$\sigma_{H \text{ lim } b2} = 2 \cdot 193 + 70 = 456. \quad (2.10)$$

Межа витривалості при згинанні зубів для сталі вуглецевої і легованої при нормалізації і поліпшенні $HB = 180 / 300$ $\sigma_{F \text{ lim } b}^0 = 1,8 \cdot HB_{cp}$ становить:

$$\sigma_{F \text{ lim } b1}^0 = 1,8 \cdot 249 = 448$$

$$\sigma_{F \text{ lim } b2}^0 = 1,8 \cdot 193 = 347$$

Допустимі контактні напруги для розрахунку на витривалість становить:

$$[s_H] = \frac{\sigma_{H \text{ lim } b}}{S_H} \cdot Z_R \cdot K_{HL} \quad (2.11)$$

де S_H – коефіцієнт безпеки, при нормалізації та поліпшенні рівний $S_H = 1,1$;

Z_R – коефіцієнт, який враховує шорсткість сполучених поверхонь зубів,

$$R_a = 0,63/1,25 Z_R = 1;$$

K_{HL} – коефіцієнт довговічності. $K_{HL} = 1$.

$$[s_H]_1 = \frac{568}{1,1} \cdot 1 \cdot 1 = 516 \text{ МПа},$$

Допустима контактна напруга:

$$[\sigma_H]_2 = \min \begin{cases} 0,45 \cdot ([\sigma_H]_1 + [\sigma_H]_2) \\ 1,23 \cdot [\sigma_H]_2 \end{cases} \quad (2.12)$$

$$[\sigma_H]_2 = \min \begin{cases} 0,45 \cdot (516 + 415) \\ 1,23 \cdot 415 \end{cases} = \min \begin{cases} 419 \\ 510 \end{cases} = 419 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруги згину становить:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim b}^0}{S_F} \cdot Y_R \cdot K_{FL} \cdot K_{FC}, \quad (2.13)$$

де S_F – коефіцієнт безпеки, $S_F = 1,7/2,2$;

Y_R – коефіцієнт, що враховує шорсткість перехідної поверхні зуба, при нормалізації та покращенні $Y_R = 1,2$;

K_{FL} – коефіцієнт довготривалості. За $HB \leq 350$ $K_{HL} = 1/2$;

K_{FC} – коефіцієнт, який враховує вплив двостороннього застосування завантаження. При односторонньому застосуванні навантаження $K_{FC} = 1$.

Підставивши числові данні, отримаємо:

$$[\sigma_F]_1 = \frac{448}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1 = 403 \text{ МПа},$$

$$[\sigma_F]_2 = \frac{347}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1 = 313 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт ширини вінця при симетричному розташуванні коліс відносно опор становить: HB_1 і $HB_2 \leq 350$ $\psi_{bd} = 0,8/1,4$. Приймаєм для розрахунків $\psi_{bd} = 1,1$.

Розрахункові коефіцієнти навантаження для симетричного розміщення шестерні відносно опор, $HB_2 \leq 350$ та $\psi_{bd} = 1,1$: $K_{H\beta} = 1,07$, $K_{F\beta} = 1,14$.

Міжосьова відстань з умов контактної витривалості:

$$a_w = K_a \times (u + 1) \sqrt[3]{\frac{10^3 \cdot M_2 \cdot K_{H\beta}}{\psi_{ba} \cdot u^2 \cdot [\sigma_H]^2}}, \quad (2.14)$$

де K_a – допоміжний коефіцієнт, для косозубих коліс становить: $K_a = 43 \text{ МПа}^{1/3}$

ψ_{ba} – коефіцієнт ширини колеса до міжосьової відстані:

$$\psi_{ba} = \frac{2 \cdot \psi_{bd}}{u + 1} \quad (2.15)$$

Підставивши числові данні, отримаємо:

$$\psi_{ba} = \frac{2 \cdot 1,1}{6,3 + 1} = 0,301.$$

Тоді міжвісева відстань рівна:

$$a_w = 43 \times (6,3 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{10^3 \cdot 3274 \cdot 1,07}{0,301 \cdot 6,3^2 \cdot 422^2}} = 406 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартне значення $a_w = 400 \text{ мм}$.

Визначаємо звичайний модуль m_n . При $HV_1 \leq 350$

$$m_n = (0,01 \div 0,02) \cdot a_w = (0,01 \div 0,02) \cdot 400 = 4/8 \text{ мм} \quad (2.16)$$

Приймаємо стандартний $m_n = 6 \text{ мм}$.

Кут нахилу зубів $\beta = 8,15^\circ$. Приймаємо $\beta = 12^\circ$.

Сумарне значення зубів:

$$z_\Sigma = \frac{2 \cdot a_w \cdot \cos \beta}{m_n} \quad (2.17)$$

$$z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 400 \cdot \cos 12^{\circ}}{6} = 130,42.$$

Приймаєм $z_{\Sigma} = 131$.

Тоді

$$z_1 = \frac{z_{\Sigma}}{u+1} = \frac{131}{6,3+1} = 17,9. \quad (2.18)$$

Приймаємо $z_1 = 18$.

$$z_2 = z_{\Sigma} - z_1. \quad (2.19)$$

$$z_2 = 131 - 18 = 113$$

Фактичний кут нахилу зубів:

$$\beta_{\phi} = \arccos \frac{m_n \cdot z_{\Sigma}}{2 \cdot a_w} \quad (2.20)$$

Тоді

$$\beta_{\phi} = \arccos \frac{6 \cdot 131}{2 \cdot 400} = 10,735^{\circ} = 10^{\circ}44'06''.$$

Фактичне передатне відношення становить:

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{113}{18} = 6,28. \quad (2.21)$$

Геометричні розміри передачі:

Діаметр ділильної окружності становить:

$$d = z \cdot m_n . \quad (2.22)$$

Тоді:

$$d_1 = 18 \cdot 6 = 108 \text{ мм} ,$$

$$d_2 = 113 \cdot 6 = 678 \text{ мм} .$$

Висота головки зуба рівна:

$$h_a = m_n = 6 \text{ мм} . \quad (2.23)$$

Висота кінцівки зуба становить:

$$h_f = 1,25 \cdot m_n = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ мм} .$$

Діаметр окружності вершин:

$$d_a = d + 2 \cdot m_n \quad (2.24)$$

$$d_{a1} = 108 + 2 \cdot 6 = 120 \text{ мм} ,$$

$$d_{a2} = 678 + 2 \cdot 6 = 690 \text{ мм} .$$

Діаметр окружності вершин западин:

$$d_f = d - 2,5 \cdot m_n \quad (2.25)$$

$$d_{f1} = 108 - 2,5 \cdot 6 = 93 \text{ мм} ,$$

$$d_{f2} = 678 - 2,5 \cdot 6 = 663 \text{ мм} .$$

Ширина колеса визначається:

$$b_2 = \psi_{ba} \times a_w = 0,301 \times 400 = 120,5 \text{ мм.} \quad (2.26)$$

Приймаємо із стандартного ряду:

$$b_2 = 120 \text{ мм}$$

Ширина шестерні рівна:

$$b_1 = b_2 + (2/5) = 120 + (2/5) = 122/125 \text{ мм.} \quad (2.27)$$

Приймаємо із стандартного ряду: $b_1 = 125 \text{ мм.}$

13. Визначаємо колову швидкість коліс за виразом:

$$v = w \times d = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot d$$

Підставимо дані, отримаємо:

$$v = \frac{\pi \cdot 1470}{30} \cdot 108 = 8,31 \text{ м / с.}$$

Для косозубих передач із швидкістю $v < 10 \text{ м / с}$ степінь точності становить 8.

Визначаємо зусилля в зчепленні.

Колова сила рівна:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M_1}{d_1} \quad (2.28)$$

Тоді:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 576}{108} = 10700 \text{ Н}$$

Радіальна сила становить:

$$F_r = \frac{F_t}{\cos\beta} \cdot \operatorname{tg}20^\circ$$

$$F_r = \frac{10700}{\cos 10^\circ 44' 06''} \cdot \operatorname{tg}20^\circ = 3950 \text{ Н}$$

Осьова сила рівна:

$$F_a = F_t \times \operatorname{tg}\beta. \quad (2.29)$$

$$F_a = 10700 \times \operatorname{tg} 10^\circ 44' 06'' = 2020 \text{ Н}$$

Приймаємо коефіцієнти динамічного навантаження для косозубих коліс за колової швидкості $v = 8,31 \text{ м / с}$, твердості зубів $\text{HB} < 350$ і степені точності 8 $K_{Hv} = 1,07$, $K_{Fv} = 1,23$. Коефіцієнти розподілу навантаження між зубами при коловій швидкості $v = 8,31 \text{ м / с}$ та степені точності 8 $K_{Ha} = 1,13$, $K_{Fa} = 0,91$.

Визначаємо розрахункову контактну напругу у зоні зчеплення зубів ша наступною формулою:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_e \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b_w} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\alpha}}, \quad (2.29)$$

де $Z_H \approx 1,76 \times \cos\beta = 1,76 \times \cos 10^\circ 44' 06'' = 1,73$ – коефіцієнт, що враховує форму з'єднаннях поверхонь зубів;

$$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2};$$

$Z_e \approx 0,8$ – коефіцієнт, який враховує сумарну довжину контактних ліній

Після підстановки даних, отримаємо:

$$\sigma_H = 1,73 \cdot 275 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{10700}{108 \cdot 120} \cdot \frac{6,28+1}{6,28} \cdot 1,07 \cdot 1,07 \cdot 1,13} = 423 \text{ МПа}$$

Перевантаження

$$\Delta = \frac{\sigma_H - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{423 - 419}{419} \cdot 100\% = 0,89 \%. \quad (2.30)$$

Допустиме перевантаження – до 5 %. Отже умова міцності виконується.

Для перевірного розрахунку на витривалість при згинанні знаходимо коефіцієнти форми зуба Y_{F1} та Y_{F2} . Ці коефіцієнти залежать від еквівалентного числа зубів:

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}. \quad (2.31)$$

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{18}{\cos^3 10^\circ 44' 06''} = 18,11;$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{113}{\cos^3 10^\circ 44' 06''} = 113,67.$$

$$Y_{F1} = 4,26, Y_{F2} = 3,60.$$

Порівняльна характеристика міцності:

$$\frac{[\sigma_F]_1}{Y_{F1}} = \frac{403}{4,26} = 94,7; \quad \frac{[\sigma_F]_2}{Y_{F2}} = \frac{313}{3,60} = 86,9.$$

Розрахунок ведеться по колесу як за менш міцним зубом.

Розрахункова напруга згину рівна:

$$\sigma_F = 0,9 \times Y_{F2} \times \frac{F_t}{b_w \cdot m_n} K_{Fb} \cdot K_{Fv} \cdot K_{Fa} < [\sigma_F]_2 \quad (2.32)$$

$$\sigma_F = 0,9 \cdot 3,60 \cdot \frac{10700}{120 \cdot 6} 1,14 \cdot 1,23 \cdot 0,91 = 61,2 \text{ МПа} < [\sigma_F]_2 = 313 \text{ МПа}.$$

Отже умова втоми при згині виконується.

Проведемо розрахунок валів

Швидкісний вал редуктора з'єднується муфтою із електродвигуном. Для цього вибираємо пружну втулково-пальцеву муфту. Розрахунковий момент муфти становить:

$$M_p > M_1 \cdot K, \quad (2.33)$$

де $K = 1,1,2 \div 5$ – коефіцієнт, який враховує режим роботи гранулятора.

$$M_p > 576 \cdot 1,8 = 1040 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вибираємо із урахуванням діаметра валу електродвигуна $d_b = 75$ мм втулково-пальцеву пружну муфту 2000-75-I.1-У3 ГОСТ 21424-75.

Для створення буртику для упору маточини, що насаджується на вал напівмуфти, приймаємо діаметр валу під ущільненням $d_{1v} = 80$ мм. Передбачаючи встановлення підшипників в корпусі редуктора без стакану, слід, щоб зовнішній діаметр підшипника був не меншим від $d_{1a} = 150$ мм. Вибираємо згідно ГОСТ 27365-87 конічні роликпідшипники 7217, та призначаємо діаметри валу під підшипниками який рівний $d_{1n} = 85$ мм.

Кінець тихохідного валу визначаємо із залежності:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{M_2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau_k]}}, \quad (2.34)$$

де $[\tau_k]$ – допустима напруга на кручення. $[\tau_k] = 12 \dots 50$ МПа.

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{3270 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 31}} = 80 \text{ мм}$$

Для створення буртику для упору маточини, яка насаджується на вал шестерні зубчастої передачі, діаметр валу під ущільненням і підшипниками приймаємо рівним $d_{2y} = d_{2п} = 85 \text{ мм}$. $d_{2к} = 85 \text{ мм}$.

Для з'єднання маточини із колесом по діаметру $d_{2ст} = 120 \text{ мм}$ використаємо призматичну шпонку згідно ГОСТ 23360-78, $b = 32 \text{ мм}$, $h = 18 \text{ мм}$, $t_1 = 7,4 \text{ мм}$, $l = 90 \text{ мм}$. Допустима напруга змінання при сталевій ступиці рівна $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$. Робочі напруги змінання становить:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_2 \cdot 10^3}{d_2 \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \quad (2.35)$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3270 \cdot 10^3}{120 \cdot (18 - 7,4) \cdot (90 - 32)} = 89 \text{ МПа.}$$

Умову міцності на змінання виконано.

Для з'єднання веденого валу зі ступицею по діаметру який становить $d_{2ст} = 72 \text{ мм}$ застосовуємо призматичну шпонку згідно ГОСТ 23360-78, $b = 20 \text{ мм}$, $h = 12 \text{ мм}$, $t_1 = 4,9 \text{ мм}$, $l = 160 \text{ мм}$. Допустима напруга змінання при сталевій ступиці становить $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$. Тоді робоча напруги змінання рівна:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_2 \cdot 10^3}{d_2 \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)}$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3270 \cdot 10^3}{72 \cdot (12 - 4,9) \cdot (160 - 20)} = 91 \text{ МПа.}$$

Отже можна стверджувати, що умову міцності на змінання виконано.

2.4 Висновки

Теоретично визначено затрати потужності на процес гранулювання комбікормів яка становить 88.7 кВт. Крутний момент на валу становить 576Нм

Проведено розрахунок зубчатої передачі приводу прес-гранулятора та обґрунтовано параметри.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Прилади та обладнання для проведення досліджень

Експериментальна установка гранулятора призначена для пресування кормових сумішей із комбінованих кормів різного складу (відповідно до групи тварин) з додаванням різних добавок відповідному фізіологічному стану розвитку тварини.

Шестерний одноматричний прес формує гранули в отворах матричних каналів великого колеса-матриці. При цьому ефективність процесу гранулювання та продуктивність преса залежать не лише від конструктивних параметрів робочих органів, але і від технологічних факторів. Тому мета випробування гранулятора була дослідити вплив коефіцієнта висоти головки зуба ролика, частоти обертання колеса-матриці в межах від 20 — 26 об/хв та подачі матеріалу від 60 до 80 кг/год, на енергоємність процесу гранулювання.

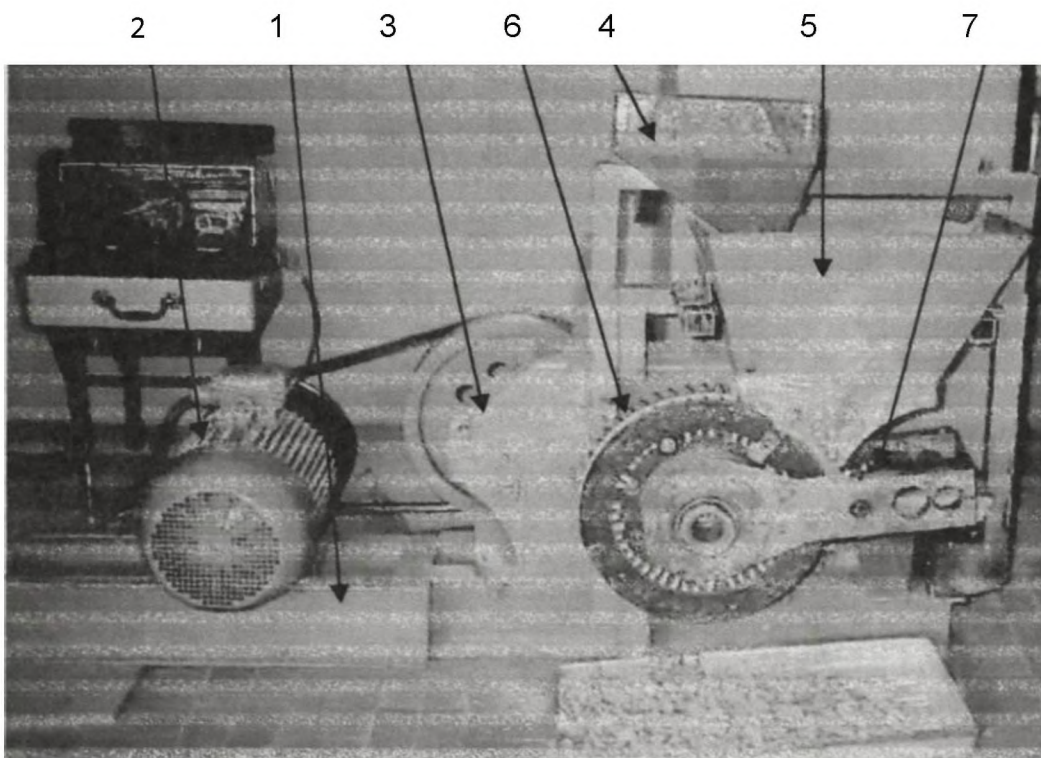


Рисунок 3.1 Експериментальна установка гранулятора комбікормів

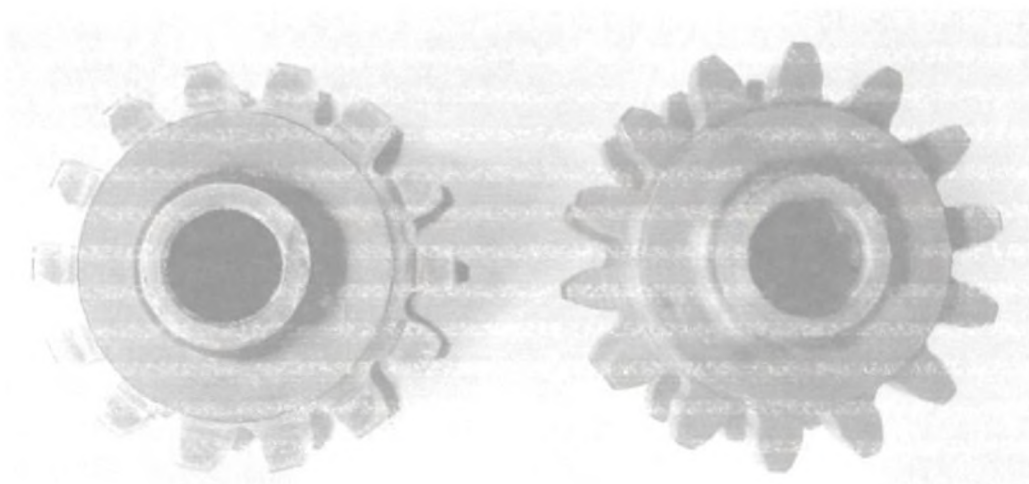


Рисунок 3.3 Загальний вигляд пресуючих роликів

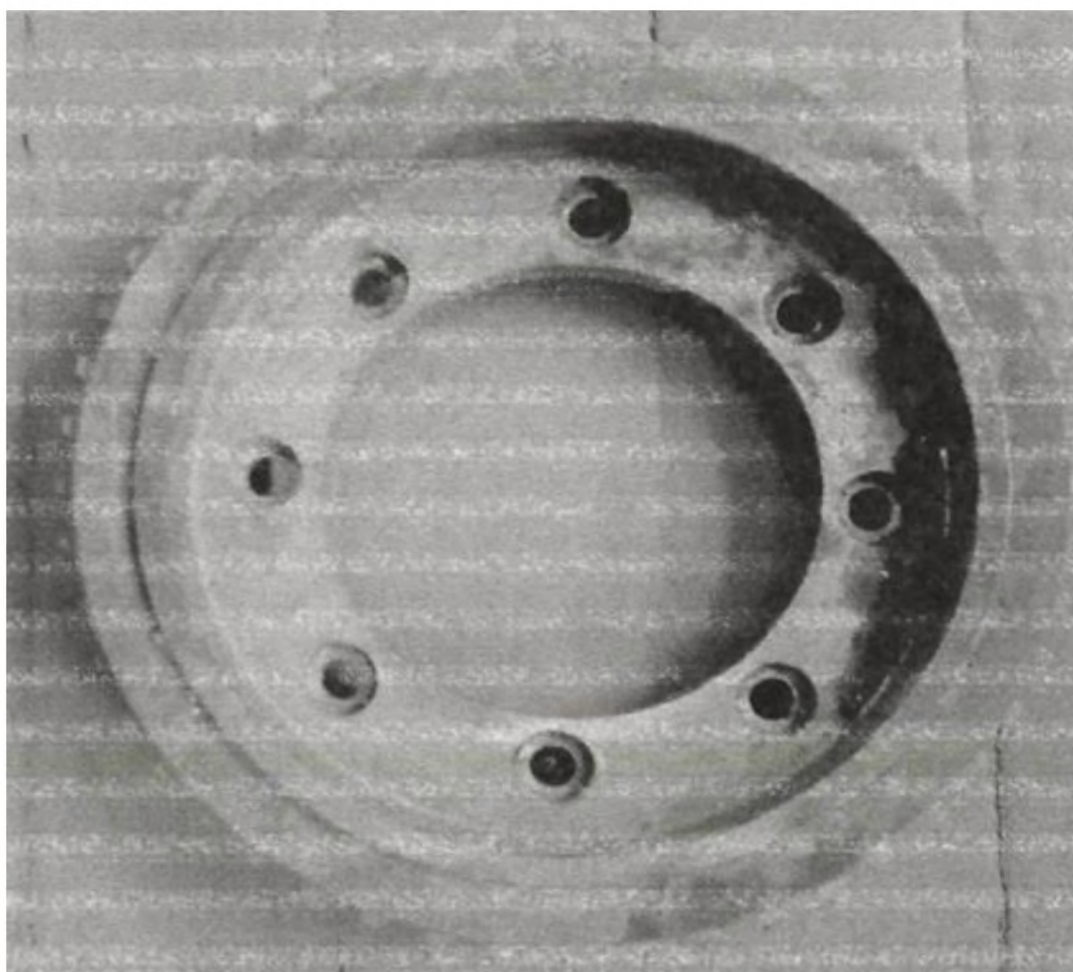


Рисунок 3.4 Загальний вигляд матриці гранулятора

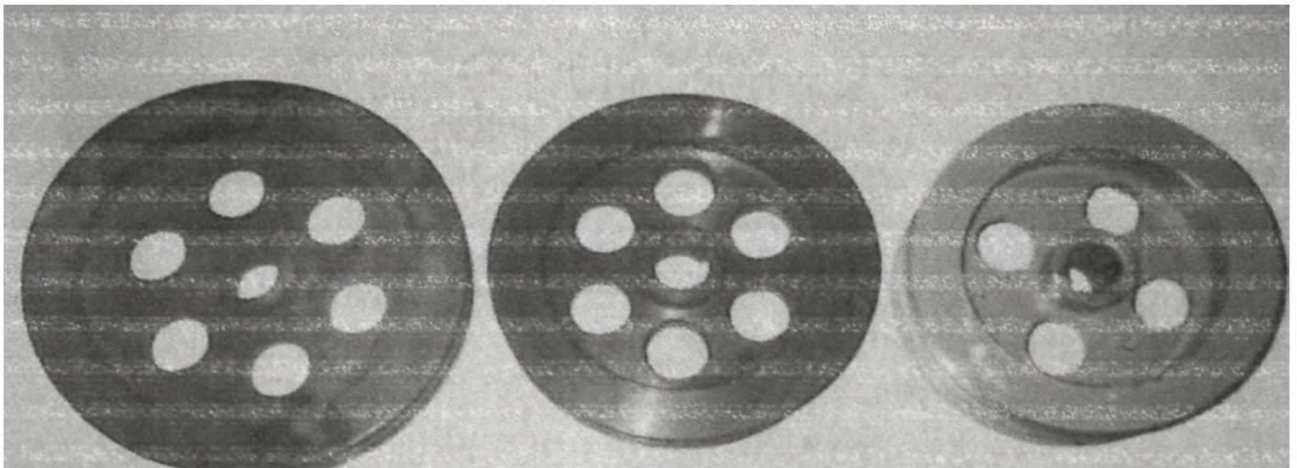


Рисунок 3.5 Загальний вигляд привідних шківів гранулятора

Зміна частоти обертання матриці здійснювалась шляхом встановлення різного діаметру привідних шківів. Загальний вигляд привідних шківів наведено на рисунку 3.5.

Подача матеріалу для гранулювання варіювалася зміною прохідного перерізу вивантажувального вікна дозатора. подача на верхньому рівні відповідає подається порції корму, яку без залишку встигали переробити матриця із роликками прес-гранулятора

3.2. Методика визначення енергозатрат на гранулювання комбікорму

Для вимірювання потужності яку споживає гранулятор використовували вимірювальний пристрій К50.

Даний пристрій дозволяє знімати покази вольметра, амперметра та ватметра на кожній фазі окремо у реальному часі.

Для того щоб вірно зняти покази пристрою необхідно: на вимірювальних пристроях дивитись не на стрілку, а на її віддзеркалення. Вимірювальний комплект К-50 має може вимірювати кілька характеристик струму одночасно. Комплект К50 включає в себе пристрої, що займаються різними типами вимірювань, що дозволяє проводити комплекси

вимірювань по заданим параметрам без втрати точності. Комплект К-50 відрізняється також низькою похибкою вимірювань. Цей комплект зручний у випадках, коли необхідно провести кілька вимірів в експериментальних дослідженнях.



Рисунок 3.6 Вимірювальний комплекс К-50

Під час досліджень визначалися витрати енергії на чистий технологічний процес, без витрат на обертання деталей преса та трансмісії (без холостого ходу). Вимірювання проводяться на режимі роботи гранулятора, що встановився. Енергоємність процесу гранулювання E визначається згідно залежності:

$$E = \frac{P - P_0}{\Pi} \quad (3.1)$$

де P - потужність, яка затрачається на гранулювання, кВт

P_0 - потужність, яка затрачається на холостому ході, кВт

П - продуктивність гранулятора, кг/год

3.3. Методика проведення багатofакторного експерименту

Для дослідження енергозатрат на процес гранулювання комбікормів проведено трьох факторний експеримент. Для досліджень використовувався план Бокса-Бенкена другого порядку.

Планування експериментального дослідження включало такі етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;
- реалізація плану експерименту згідно з матрицею планування;
- складання рівняння регресії для визначення коефіцієнтів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Фактори та рівні, які використовувалися при дослідженнях наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори		
	Коефіцієнт висоти зуба, h	Частота обертання матриці n , об/хв.	Подача матеріалу Q кг/год
	x ₁ ,	x ₂	x ₃
Верхній (+1)	0.6	26	80
Нульовий (0)	0.4	23	70
Нижній (-1)	0.2	20	60
Інтервал варіювання, ε	0,2	3	20

Зв'язок між кодованими танатуральними значеннями факторів має вигляд [15]:

$$x_1 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{K - K_0}{\varepsilon_2}; \quad x_3 = \frac{\omega - \omega_0}{\varepsilon_3} \quad (3.2)$$

де x_1, x_2, x_3 , – кодові значення факторів, відповідно, коефіцієнта висоти зуба ролика, частоти обертання матриці, подачі матеріалу;

h, n, Q – натуральні значення факторів, відповідно, коефіцієнта висоти зуба ролика, частоти обертання матриці, подачі матеріалу;

h_0, n_0, Q_0 – натуральні значення факторів на нульовому рівні;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – інтервали варіювання факторів.

Дослідження проводили, згідно матриці планування експерименту що наведена в таблиці 3.2

Рівняння регресії матиме наступний вигляд [15]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

Коефіцієнти регресії визначаються згідно формул [15]:

$$b_0 = 0,33333 \sum_{j=1}^n y_j - 0,16667 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j; \quad (3.3)$$

$$b_i = 0,08333 \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j; \quad (3.4)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j + 0,0625 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j - 0,16667 \sum_{j=1}^n y_j; \quad (3.5)$$

$$b_{ir} = 0,25 \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{rj} y_j, \quad (3.6)$$

де j – номер дослідів в матриці планування;

n – кількість дослідів в матриці планування;

y_j – значення функції відгуку в j -му досліді;

k – кількість факторів;

x_{ij}, X_{rj} – кодовані значення i -го чи r -го фактору в j -му досліді;

i, r – номери факторів.

Таблиця 3.2 матриця планування експерименту

Закодовані значення факторів			Коефіцієнт висоти головки зуба, h	частота обертання вала, n , об/хв	Подача матеріалу, Q кг/год	Енергоємність КВт год/т
1	2	3	4	5	6	7
-1	0	+1	0,2	23	80	10,63
-1	+1	0	0,2	26	70	10,6
-1	-1	0	0,2	20	70	8,4
-1	0	-1	0,2	23	60	12,4
+1	0	+1	1	23	80	16,85
+1	+1	0	1	26	70	22,6
+1	-1	0	1	20	70	18,4
+1	0	-1	1	23	60	20,4
0	+1	+1	0,6	26	80	10,5
0	-1	+1	0,6	20	80	8,7
0	+1	-1	0,6	26	60	20,7
0	-1	-1	0,6	20	60	16,0
0	0	0	0,6	23	70	15,9
0	0	0	0,6	23	70	15,9
0	0	0	0,6	23	70	15,9

Дисперсії коефіцієнтів регресії рівні [15]:

$$S_{b_0}^2 = 0,33333S_y^2; \quad (3.7)$$

$$S_{b_i}^2 = 0,08333S_y^2; \quad (3.8)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = 0,1875S_y^2; \quad (3.9)$$

$$S_{b_{ir}}^2 = 0,25S_y^2; \quad (3.10)$$

$$\text{cov}_{b_0b_{ii}} = -0,16667S_y^2; \quad (3.11)$$

$$\text{cov}_{b_{ii}b_{ir}} = 0,0625S_y^2. \quad (3.12)$$

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли шляхом порівняння абсолютної величини коефіцієнтів з відповідними їх довірчими інтервалами.

Довірчі інтервали становлять визначали згідно залежностей [15]:

$$\Delta b_0 = t_{0,05;f_1} S_{b_0}; \quad (3.13)$$

$$\Delta b_i = t_{0,05;f_1} S_{b_i}; \quad (3.14)$$

$$\Delta b_{ir} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ir}}; \quad (3.15)$$

$$\Delta b_{ii} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ii}}, \quad (3.16)$$

де $t_{0,05;f_1}$ – табличне значення критерію Ст'юдента при 5%-му рівні значущості та $f_1 = n_0 - 1$ – числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності (n_0 – кількість дослідів у центрі плану).

Коефіцієнт регресії вважали статистично значущим, у випадку коли абсолютна величина більша від довірчого інтервалу.

3.4. Результати дослідження енергоємності процесу гранулювання з використанням математичного методу планування експерименту

Проведення багатofакторного експерименту проводили згідно методики, яка наведена у п.п. 3.3. пояснювальної записки. Обробка отриманих в результаті експериментальних дослідженнях даних здійснювалася за допомогою програми Mathcad 15 (додаток В). За результатами обробки даних трифакторного експерименту, згідно із трирівневим планом Бокса-Бенкіна, одержано рівняння регресії, що описує енергозатрати на гранулювання комбікормів залежно від коефіцієнту висоти зуба, h , частоти обертання матриці n , та подачі матеріалу Q .

Перевірку відтворюваності дослідів здійснювали із використанням критерію Кохрена:

$$G=0,125 \leq G_{\text{табл.}}(0,05;n;f_u)=0,335 \quad (3.17)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії при дослідженнях проводилась із використанням критерію Стьюдента.

Критерій Стьюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1=2$ складає $t(0,05;2)=4,3$ [19].

Отримане рівняння регресії у кодованих значеннях:

$$y = 15.9 + 4.53x_1 + 1.62x_2 - 2.85 \cdot x_3 - 0.73x_1 \cdot x_2 - 0.99 \cdot x_2^2 - 0.93 \cdot x_3^2 \quad (3.18)$$

де x_1 – кодоване значення коефіцієнта висоти зуба ролика;

x_2 – кодоване значення частоти обертання матриці;

x_3 – кодоване значення подачі матеріалу;

Остаточно рівняння регресії із факторами у натуральному виді:

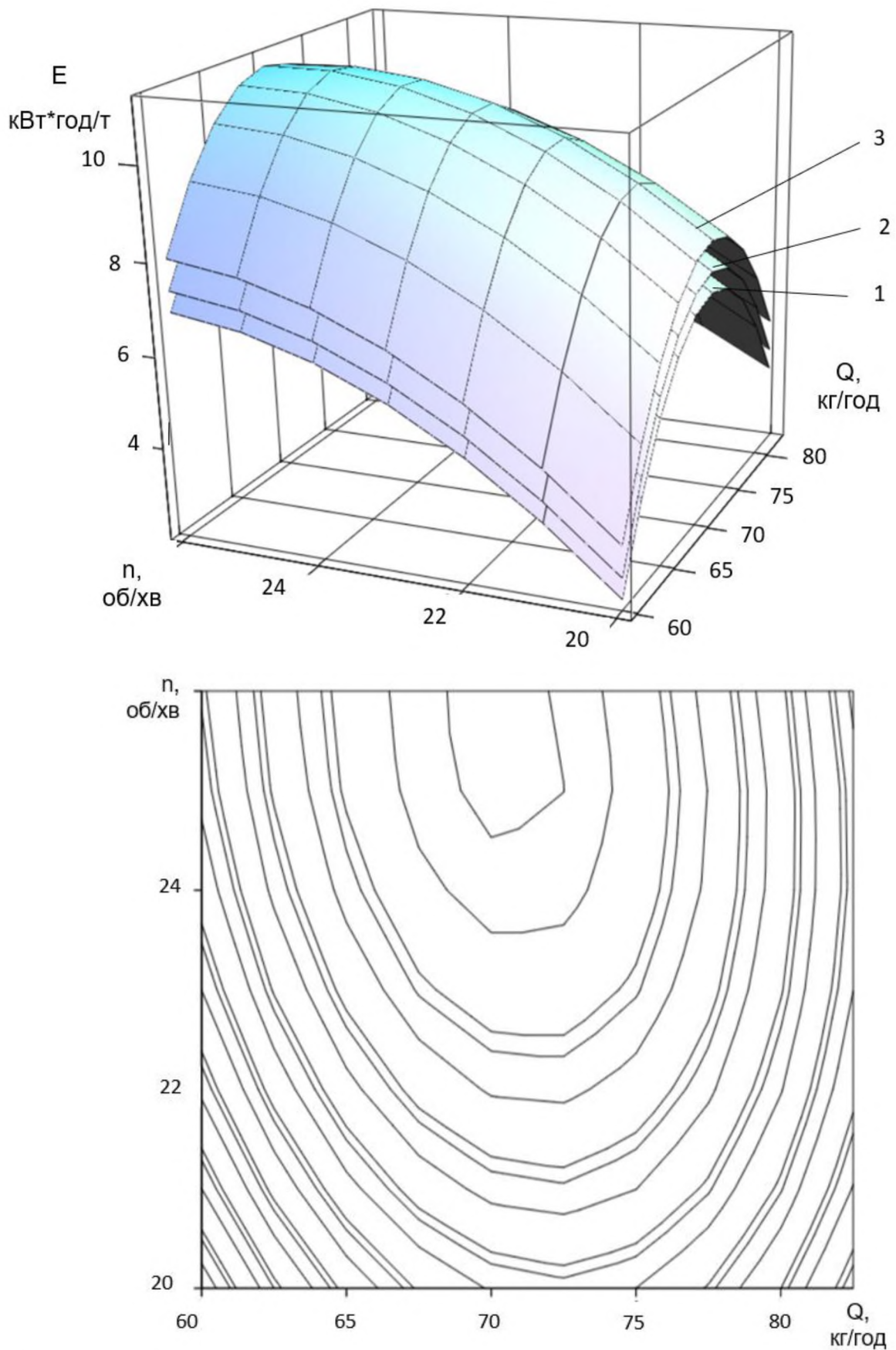


Рисунок 3.7 Поверхні відгуку, які характеризують залежність енергоємності процесу гранулювання E від частоти обертання матриці n та подачі матеріалу Q при коефіцієнті висоти зуба: 1 – $k=0,2$; 2 – $k=0,4$; 3 – $k=0,6$.

$$y(Q, h, n) = 5,85 \cdot Q - 0,024 \cdot Q \cdot n - 0,038 \cdot Q^2 - 0,11 \cdot n^2 + 7,31 \cdot n + 1,13 \cdot h - 285,9$$

(3.19)

За отриманим рівнянням регресії (3.3) побудовано поверхні відгуку що наведені на рисунку 3.7.

3.5. Висновки

Аналізуючи дані поверхні відгуку можна зробити висновок, що на енергоємність процесу гранулювання роблять суттєвий вплив частота обертання матриці та величина подачі матеріалу. Найвищі показники енергоємності досягаються при подачі матеріалу 70...75 кг/год. Найменші енергостратати спостерігаються при частоті обертання матриці $n=20...23$ об./хв.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЦАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Класифікація виробництва

Виробництво комбікормів належить до II класу небезпечності. У технологічному процесі можуть відбуватися викиди дрібного пилю, а також робота ведеться в умовах вібрації гранулюючого обладнання. За екологічною характеристикою промислова зона комбінату підходить до житла на 30 м. Відповідно до рози вітрів їхній панівний напрямок південно-східний.

Комбінат по виготовленню гранульованого комбікорму, належить до вибухонебезпечних підприємств. Вибухонебезпечними являються:

- елеватор;
- комбікормовий завод;

Вибухонебезпечних та хімічно небезпечних речовин на заводі немає, але існує небезпека загоряння об'єктів при необережному поводженні із вогнем, на слід звернути особливу увагу. Електро- і газозварювальні роботи необхідно проводити лише у визначеному місці, а у разі необхідності таких робіт у цехах допускається лише із дозволу головного інженера під контролем начальника цеху і пожежної охорони.

4.1.2 Класифікація виробництва і приміщень

До класифікації пожежної безпеки виробництво комбікормів належить до категорії ВІІ-а, тобто виробництво комбікормів є вибухонебезпечним внаслідок можливого самозаймання виробничого пилю.

Згідно із класифікацією будівель та споруд, за вогнестійкістю даний об'єкт по виробництву гранульованих добрив відноситься до III ступеня вогнестійкості, згідно із СНіП 31-03-2001.

За безпекою ураження електричним струмом приміщення для виготовлення гранульованих добрив належить до класу «із підвищеною безпекою», у приміщенні бетонні підлоги.

Процес приготування гранульованих комбікормів відбувається методом пресування під високим тиском із застосуванням пари. Основною шкідливістю виробничого приміщення, де здійснюється виробництво комбікорму, являється висока запиленість. Окрім запиленості, наявний шум 90 дБА і вібрація: локальна 120 дБ і загальна 100 дБ.

Необхідний коефіцієнт природного освітлення приміщення становить 1,8%, що відповідає фактичному коефіцієнту природного освітлення у виробничому приміщенні. В приміщенні передбачено також штучне висвітлення. Характеристика зорової роботи робітника: освітленість 150 лк. Показник засліплення $P=40$.

Одним із важливих елементів сприятливих умов праці являється раціональність та достатність освітлення робочого місця. При необхідному освітленні підвищується продуктивність праці робітників, знижується стомлення зору працівника і відповідно зменшується виробничий травматизм.

У приміщенні, де здійснюється виробництво комбікорму, знаходиться прес для гранулювання комбікорму. На робочому місці робітника температура повітря становить 26 С, вологість повітря 69 %, швидкість руху повітря рівна 0,2 м/с.

Для виробництва застосовується трифазна мережа напругою $U=380$ із ізольованою нейтраллю. При такому виробництві являється небезпека ураження електричним струмом працівника у випадку пробивання ізоляції однієї із фаз на металеві частини корпусів обладнання.

4.2 Розробка заходів щодо забезпечення безпеки життєдіяльності

У виробничому приміщенні застосовується природне і штучне освітлення. Оскільки освітленість 150 лк недостатня для нормального

освітлення, у зв'язку з цим проведемо розрахунок штучного освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Так як, виробничому приміщенні висота становить 5 м доцільно застосувати ртутні лампи. У кварцовій трубці, яка містить дозовану частку ртуті і інертного газу, здійснюється електричний розряд. Проведемо розрахунок.

Розрахунок штучного висвітлення приміщення. Необхідний потік світильника визначається за такою залежністю:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S_n \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де E – нормована освітленість, лк;

Φ – потужність світлового потоку, лк;

S_n – площа освітлюваного приміщення;

K_3 – коефіцієнт запасу освітленості;

Z – коефіцієнт нерівномірності висвітлення;

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Площа приміщення становить:

$$S_n = A \cdot B, \text{ м}^2 \quad (4.2)$$

Визначимо кількість ламп.

Схема підвісу світильників наведено на рисунку 4.1

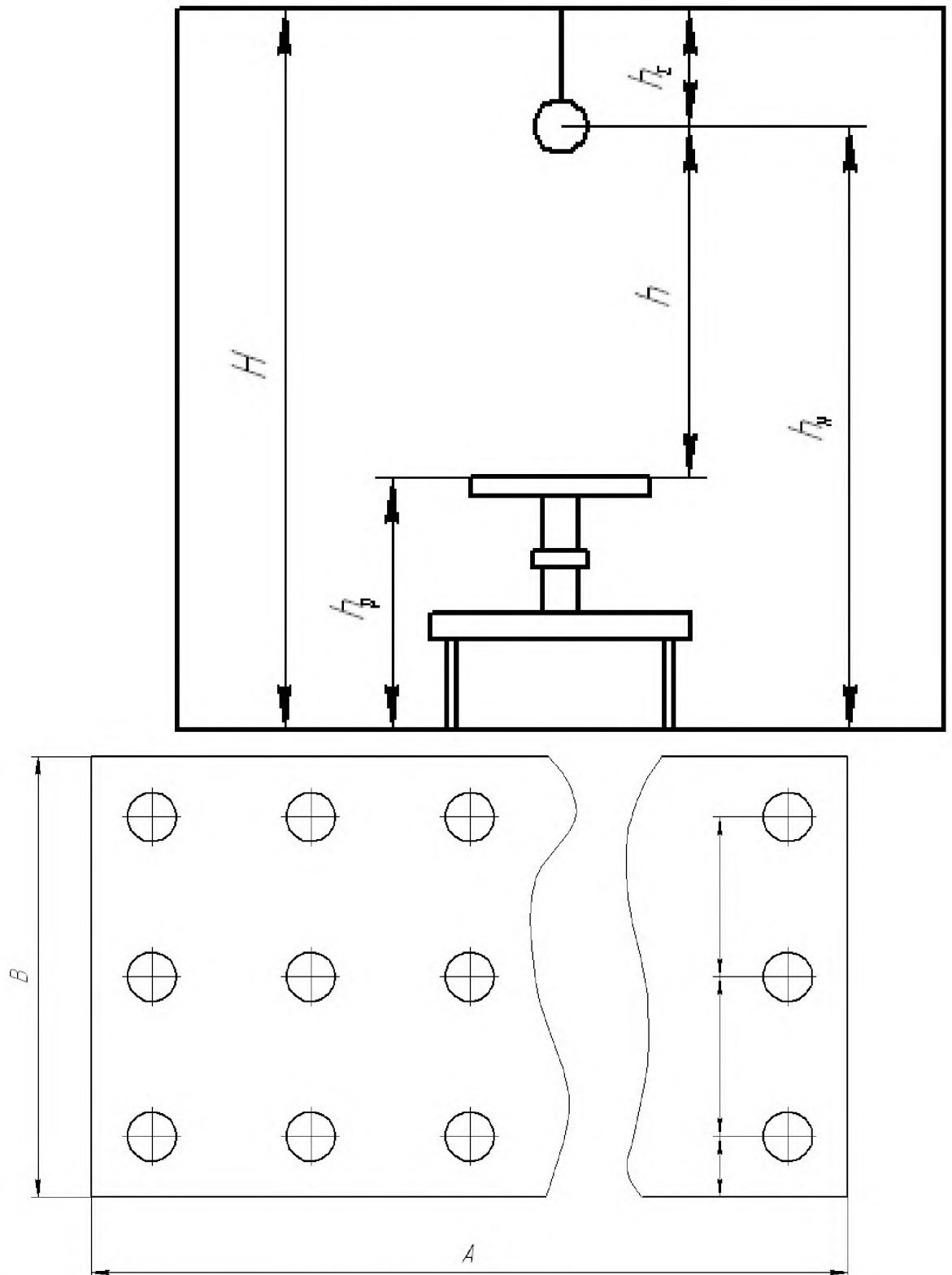


Рисунок 4.1 - Схема підвісу світильників:

h_p – висота від підлоги до робочої поверхні, $h_p = 1,2$ м ;

H – висота приміщення, $H = 5$ м ;

h_c – висота від стелі до низу світильника, $h_c = 0,2$ м .

Відповідно висота підвісу світильника над робочою поверхнею становить:

$$h_{\text{св}} = H - h_p - h_c. \quad (4.3)$$

Підставивши числові данні, отримаємо:

$$h_{\text{св}} = 5 - 1,2 - 0,2 = 3,6 \text{ м.}$$

Визначимо відстань між даними світильниками.

Оскільки у аналізі тип світильника не був визначений, визначимо необхідний тип світильника. Згідної з рекомендацією для роботи із невисокими вимогами до кольоро розрізнення і освітленості 150-200 лк рекомендовані лампи типу ДРЛ.

Основна вимога під час виборі висоти розташування світильників являється доступність для обслуговування. Рекомендується відношення

$$\frac{L}{h} = 0,8 \div 1,2.$$

Для розрахунків приймаємо:

$$\frac{L}{h} = 1 \quad (4.4)$$

Звідки знаходимо:

$$L = 1 \cdot h$$

Підставивши дані, отримаємо:

$$L = 1 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ м}$$

Лампи підвісимо на вершинах квадрата, тобто. приймемо, що L – це відстань між світильниками в ряду і між рядами.

Відстань від крайніх світильників до стіни, l , визначаємо за формулою:

$$l = (0,3 \div 0,5) \times L$$

Після підстановки числових даних:

$$l = 0,4 \times 3,6 = 1,44 \text{ м.}$$

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку знайдемо індекс приміщення i , який визначається за наступною формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (4.5)$$

де A, B – відповідно довжина та ширина приміщення.

Тоді :

$$i = \frac{30 \cdot 15}{3,4 \cdot (30 + 15)} = 2,94$$

Округлюємо отримане значення до найближчого табличного значення, отримаємо $i = 5,0$.

Оцінюємо значення коефіцієнта відображення стін $\rho_{ст}$ та стелі $\rho_{п}$. Коефіцієнт відбиття від стелі становить $\rho_{п} = 0,5$, коефіцієнт відбиття від стіни

становить $\rho_{\text{ст}} = 0,3$. Тоді, коефіцієнт використання світлового потоку рівний $\eta = 0,88$.

Знаходимо коефіцієнт запасу (K_3) залежно від типу приміщення і типу світильників. $K_3 = 1,5$.

Визначаємо кількість світильників у одному ряду по довжині приміщення цеху:

$$N_j = \frac{A - 2 \cdot 0,4 \cdot L}{L} + 1. \quad (4.6)$$

Тоді,

$$N_j = \frac{30 - 2 \cdot 0,4 \cdot 3,6}{3,6} + 1 = 8 \text{ шт.}$$

Визначаємо кількість світильників по ширині приміщення:

$$N_i = \frac{B - 2 \cdot 0,4 \cdot L}{L} + 1. \quad (4.7)$$

Підставивши данні, отримаємо:

$$N_i = \frac{15 - 2 \cdot 0,4 \cdot 3,6}{3,6} + 1 = 4 \text{ шт.}$$

Загальна кількість світильників становить:

$$N = N_j \times N_i = 8 \times 4 = 32 \text{ шт.} \quad (4.8)$$

Нормована освітленість $E = 200$ лк.

Потужність світлового потоку: становить:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 1,15}{32 \cdot 0,88} = 4420 \text{ лм.}$$

За значенням потужності світлового потоку вибираємо стандартну лампу типу ДРЛ із потужністю світлового потоку якої становить 5600 лм. Потужність лампи рівна $P = 125 \text{ Вт}$.

4.3. Розрахунок вентиляції

Цех із виготовлення гранульованих комбікормів відноситься до виробничих приміщень із підвищеною запиленістю. Для забезпечення оптимальних температурних умов і підтримання допустимої норми запиленості повітря необхідна вентиляція у виробничому приміщенні.

У виробничому приміщенні цеху гранулювання добрив є природна вентиляція. За природної вентиляції переміщення повітря відбувається за рахунок різниці щільності холодного та теплого повітря. Для виробництва гранульованих комбікормів природної вентиляції недостатньо, тому що на ділянці є велика запиленість від сировини, та гранульованої отриманої продукції. За цих умов необхідно застосовувати примусову вентиляцію.

Переваги примусової вентиляції - очищення повітря, що видаляється, вловлювання забрудненого повітря.

Визначаємо кількість повітря, яка видаляється із приміщення за формулою:

$$L = \frac{m_{po}}{q_1 - q_{in}}, \quad (4.9)$$

де q_1 - концентрація комбікормового пилу в повітрі, який видаляється із робочої зони приміщення, мг/м^3 ;

m_{po} – кількість комбікормового пилу, що надходить і повітря приміщення, мг/год;

q_{in} - концентрація комбікормового пилу у повітрі, що подається у приміщення, мг/м³.

За результатами вимірів приймаємо:

$$m_{po} = 26\,000 \text{ мг / год,}$$

$$q_1 = 3 \text{ мг / м}^3,$$

$$q_{in} = 0,5 \text{ мг / м}^3$$

Підставивши дані, отримаємо:

$$L = \frac{26000}{3 - 0,5} = 10400 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Проведемо розрахунок повітрообміну за кратністю повітрообміну:

$$L_{vo} = K \cdot V, \quad (4.10)$$

де K – кратність повітрообміну, 1/год. $K = 6$ 1/год

V – об'єм приміщення;

Тоді

$$L_{vo} = 30 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 6 = 13500 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Підбір вентилятора здійснюємо за найбільшою витратою повітря.

За довідником вибираємо вентилятор та двигун: Вентилятор радіальний пиловий, із колесом $D_{ном} = 800$ мм, номінальним повним тиском 1764 Па

номінальною продуктивністю $Q = 15000 \text{ м}^3 / \text{год}$, масою 423 кг; двигун, $N_{\text{дв}} = 7,5 \text{ кВт}$, $n_{\text{дв}} = 727 \text{ об / хв}$, ККД = 90 %, масою 125 кг.

Для забезпечення високої продуктивності безпеки праці необхідно приділяти увагу приділено кольоровому оформленню обладнання. Кольорове оформлення агрегату слід виконати відповідно до вказівок щодо раціонального кольорового забарвлення обладнання: Гранулятор пофарбований у світлий тон. На гранулятору виділено:

- частини, що переміщуються, пофарбовані у помаранчевий колір;
- кнопки керування:
«ПУСК» - ЧОРНИМ;
«СТОП» - ЧЕРВОНИМ.

Для приводу робочих органів цеху по виготовленні гранульованих комбікормів виробництві застосовується трифазна мережа напругою $U = 380 \text{ В}$ із ізолюваною нулем.

Тому доцільно застосовувати захисне заземлення. Під час використання захисного заземлення використовується явище, яке виникає під час стікання струму у землю, за якого якому відбувається різке зниження потенціалу струмопровідної частини, що унеможливорює ураження електричним струмом людини, яка доторкнулася до поверхні під напругою.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом в умовах виробництва гранульованого комбікорму вжито такі заходи:

- електромонтаж виконаний ізолюваним кабелем, який підводить живлення від мережі до електрошафи керування, покладеним у сталеву трубу для захисту від механічних пошкоджень;
- можливість дотику працівника до струмопровідних частин відсутня. б)
- відповідно до правил встановлення та експлуатації обладнання усі електричні пристрої заземлені, оскільки напруга мережі становить $U = 380 \text{ В}$, сумарна потужність вища $100 \text{ кВт} \cdot \text{А}$, опір заземлення рівний 4 Ом .

Усі роботи, які пов'язані із експлуатацією гранулятора, повинні виконуватися відповідно до вимог, які пред'являються до вибухонебезпечних приміщень. Забороняється допускати до обслуговування обладнання осіб, що не пройшли інструктаж із техніки безпеки.

Забороняється експлуатувати гранулятор, який має несправності, що можуть призвести до порушення нормальної роботи і аварії.

Ділянки обслуговування установки і всіх її систем мають бути освітлені та вільні від сторонніх предметів і забезпечувати вільний доступ до місць обслуговування.

Забороняється під час роботи гранулятора проводити демонтаж, та будь-які інші ремонтні, які можуть призвести до травмування обслуговуючого персоналу.

Забороняється відкривати кришки подрібнювача та змішувача при включених приводах. На подрібнювачі та змішувачі передбачені кінцеві вимикачі, які відключають приводи при відкриванні кришок.

Забороняється вручну або будь-яким іншим предметом відключати кінцеві вимикачі на подрібнювачі або змішувачі преса із метою включення приводів при відкритих кришках.

При огляді, зміні матриць і роликів, ремонтних роботах все електрообладнання гранулятора повинно бути знеструмлено та на автоматі панелей керування вивішено плакат, який забороняє включення автомата. Розміри плакату повинні відповідати нормам "Правил технічної експлуатації та безпеки обслуговування електроустановок".

Категорично заборонено під час роботи виконувати ремонт та налаштування електричних апаратів під напругою. Виправляти несправності дозволено тільки при вимкненому електрообладнанні.

До обслуговування електрообладнання установки допускаються особи, що здали технічний мінімум із техніки безпеки, вивчили інструкцію і здали екзамен.

Інженерні рішення щодо пожежної профілактики

Гасіння пожежі забезпечується активним (механічним, фізичним або хімічним) впливом на зону горіння для порушення стійкості. Найбільш широко застосовуваною речовиною для гасіння є вода. Вода у порівнянні із іншими вогнегасними речовинами має невелику теплостійкість та придатна для гасіння переважної більшості горючих речовин. Найбільш раціональним видом подачі води на пожежі являється розпорошення струменя, оскільки тонко розпорошена вода утворює аеродисперсну систему (туман)

До первинних засобів пожежогасіння відносять внутрішній пожежний кран. Кран має бути розташований на висоті рівній 1.35 м від підлоги..

Пожежний зв'язок та сигналізація. Із метою своєчасного оповіщення працівників про виникнення пожежі, та виклику пожежних команд є система пожежного зв'язку і оповіщення.

Виробничі приміщення забезпечуються пожежною сигналізацією, що може бути як електричною так і автоматичною.

Основні заходи захисту людей у надзвичайній ситуації наступні:

- оповіщення про радіоактивне хімічне, біологічне зараження; про повені та пожежі
- попередження про можливу загрозу виникнення надзвичайної ситуації;
- виявлення обстановки в осередку поразки про можливий вплив на людей вражаючих факторів;
- укриття працівників у пристосованих під потреби захисту приміщеннях;
- використання засобів індивідуального захисту органів дихання людини;
- проведення медичного захисту
- евакуація людей з зони надзвичайної ситуації
- ліквідація наслідків надзвичайної ситуації

4.4. Висновки

Під час виготовлення гранульованих комбікормів на екологію здійснюють вплив такі фактори:

- забруднення стічних вод;

викид виробничого пилу через вентиляцію та нещільність у огороженні будівель;

- викиди і забруднення від котельні.

Для усунення впливу на довкілля пропонується такі заходи:

- змонтувати на підприємстві по виготовленню гранульованих комбікормів водо відстійний споруд.

- обладнати витяжну вентиляцію із пилоочисними циклонами;

- впровадити практику замінити внутрішньовиробничого автомобільного транспорту на електричний із живленням від акумуляторів.

Для усунення перевищення гранично допустимих рівнів шкідливих факторів здійснено:

- проведено розрахунок примусової цехової витяжної вентиляції;

- проведено розрахунок загального освітлення цеху

- запропоновано заміну застарілого обладнання, що являється джерелом підвищеного шуму та вібрації, на нове, яке задовольняє всім санітарно-гігієнічним нормам щодо шуму і вібрації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Тваринництво є основою для виробництва якісної харчової продукції. Розвиток цієї галузі тваринництва потребує створення належної кормової бази для відгодівлі тварин. Якісна годівля сільськогосподарських тварин визначає їх ріст продуктивність та розвиток.

Гранульовані корми володіють цілим рядом переваг перед розсипними.

Розроблена принципова та кінематичні схеми гранулятора кормів. Виконане складальне креслення прес-гранулятора із кільцевою матрицею.

Теоретично проведений силовий розрахунок прес гранулятора, розрахована потужність що затрачається на привід гранулятора, яка рівна 88.7 кВт. Розраховано параметри зубчатої передачі приводу гранулятора.

Функція відгуку енергоємності процесу гранулювання та її двомірні січення (рисунок 3.7) рекомендує значення коефіцієнта висоти головки зуба $h_a = 0,43m$ та частоти обертання матриці гранулятора $n=24,5$ об/хв.

Основними небезпеками при виробництві гранульовані комбікормів є запилення на робочому місці, збільшений шум та збільшена загальна та місцева вібрації. Для зменшення негативного впливу цих факторів було проведено розрахунок освітлення у виробничих приміщеннях та розрахунок загальної вентиляцію приміщень. Наведено рекомендації, щодо зменшення вібрації при виробництві гранул.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Michard J. Feeding micropellets to newly hatched chicks to improve growth rate. *International Hatchery Practice*. 2014. Vol. 28. P. 21-23.
2. Mościcki L. Technika ekstruzji w przemyśle rolno-spożywczy / L. Mościcki, M. Mitrus, A. Wójtowicz. – Warsaw: PWRiL, 2007. – 222 p.
3. Братішко В.В. Аналіз продуктивності гвинтового гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвід. наук.-тех. зб. Кіровоград: КНТУ. 2013. Вип. 43, ч. II. С. 43-49.*
4. Братішко В.В. Аналіз тиску в каналі гвинта гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвід. темат. наук. зб. Глеваха. 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 74-84.*
5. Братішко В.В. Узгодження конструкційних параметрів матрицьгвинтових грануляторів кормів за тиском та пропускнуою здатністю. *Техніка всільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2014. Вип. 27. С. 187–191.*
6. Гвоздєв О.В., Скляр О.Г., Болтянський О.В. Підвищення ефективності використання технічних засобів комбікормового виробництва методом системного підходу. *Праці ТДАТУ. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 92–98.*
7. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». – Київ: Мінбуд України, 2006. – 79 с.
8. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. – Київ: Держстандарт України, 1999. – 22 с.
9. Закон України «Про цивільну оборону України» від 03.02.1993 року № 2974-XII. ДСТУ 4397: 2005.

10. Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П., Ляшук О.Л. Теоретичне обґрунтування конструкції пружного гвинтового робочого органу екструдера. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця. 2016. Вип. 3(95).

11. Єгоров Б.В., Воєцька О.Є., Лапінська А.П. Сучасні тенденції виробництва комбікормів для свиней. Наукові праці ОНАХТ. 2011. Вип. 40, Том. 1. С. 76-80.

12. Єгоров Б.В. Аналіз технологічних способів виробництва комбікормів для свиней. Зернові продукти і комбікорми. 2011. № 2 (42). С. 25-29.

13. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів освітнього ступеня «магістр» за освітньо-професійною програмою «Машини та обладнання сільсько-господарського виробництва» спеціальності 133 Галузеве машинобудування машинобудівного факультету денної та заочної форм навчання/ уклад. В.Ф. Дідух, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 52 с.

14. **Миколайчук С** Огляд грануляторів кормів. Тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. С.58-60

15. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

16. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

ДОДАТКИ

Трифакторний експеримент за планом Бокса-Бенкена

Вихідні дані для розрахунку:

Кількість експериментів: $n \equiv 15$

Кількість повторностей: $m \equiv 3$

Матриця планування експерименту:

$$X \equiv \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Матриця результатів експерименту:

$$Y \equiv \begin{pmatrix} 22.6 & 22.6 & 22.6 \\ 10.6 & 10.6 & 10.6 \\ 18.4 & 18.4 & 18.4 \\ 8.4 & 8.4 & 8.4 \\ 16.85 & 16.85 & 16.85 \\ 10.63 & 10.63 & 10.63 \\ 20.4 & 20.4 & 20.4 \\ 12.4 & 12.4 & 12.4 \\ 10.5 & 10.5 & 10.5 \\ 8.7 & 8.7 & 8.7 \\ 20.7 & 20.7 & 20.7 \\ 16.0 & 16.0 & 16.0 \\ 15.9 & 15.9 & 15.9 \\ 15.9 & 15.9 & 15.9 \\ 15.9 & 15.9 & 15.9 \end{pmatrix}$$

Кількість дослідів у центрі плану:

$n_0 \equiv 3$

Табличне значення критерію Стюдента:

$t \equiv 4.3$

Табличне значення критерію Кохрена:

$G_{таб} \equiv 0.335$

Результати розрахунку:

Матриця середніх значень результатів експерименту:

$$Y_{CER_1} = \begin{pmatrix} 22.6 \\ 10.6 \\ 18.4 \\ 8.4 \\ 16.85 \\ 10.63 \\ 20.4 \\ 12.4 \\ 10.5 \\ 8.7 \\ 20.7 \\ 16 \\ 15.9 \\ 15.9 \\ 15.9 \end{pmatrix}$$

Коефіцієнти регресії:

$$\begin{aligned} b_0 &= 15.9 & b_1 &= 4.528 & b_2 &= 1.613 & b_3 &= -2.852 \\ b_{12} &= 0.5 & b_{13} &= -0.445 & b_{23} &= -0.725 \\ b_{11} &= b_{jj_0} = 0.097 & b_{22} &= b_{jj_1} = -0.997 & b_{33} &= b_{jj_2} = -0.927 \end{aligned}$$

Критерій Кохрена:

$G_{роз} = 1$ $G_{таб} = 0.335$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = 48.345 \quad \Delta b_j = 29.605 \quad \Delta b_{jr} = 41.868 \quad \Delta b_{jj} = 43.575$$

Дисперсія відтворюваності експерименту:

$S_{y2} = 379.215$

Дисперсія неадекватності:

$S_{неад2} = 344.741$

Значення функції відгуку
отримані за р-ням регресії:

число ступенів вільності
дисперсії неадекватності - $f_2 = 11$
відтворюваності
експерименту - $f_1 = 2$

Критерій Фішера: $F_{розр} = 0.909 < F_{табл} := 19.4$

Гіпотезу адекватності рівняння регресії приймаємо
коли $F_{розр} < F_{табл}(0,05,f_2,f_1)$

Остаточні значення коефіцієнтів регресії в кодованому
вигляді:

$b_0 = 15.9$ $b_1 = 0$ $b_2 = 0$ $b_3 = 0$
 $b_{12} = 0$ $b_{13} = 0$ $b_{23} = 0$
 $b_{jj_0} = 0$ $b_{jj_1} = 0$ $b_{jj_2} = 0$

Натуральні величини:

Середні величини:

$x_{1сер} := 1.5$
 $x_{2сер} := 3$
 $x_{3сер} := 0.35$

Інтервал варіювання:

$x_{1int} := 0.3$
 $x_{2int} := 1$
 $x_{3int} := 0.1$

Рівняння в натуральних величинах:

$$f(x_1, x_2, x_3) := b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{x_1 - x_{1сер}}{x_{1int}} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{x_2 - x_{2сер}}{x_{2int}} \right) + b_3 \cdot \left(\frac{x_3 - x_{3сер}}{x_{3int}} \right) \dots$$

$$+ b_{12} \cdot \left(\frac{x_1 - x_{1сер}}{x_{1int}} \right) \cdot \left(\frac{x_2 - x_{2сер}}{x_{2int}} \right) + b_{23} \cdot \left(\frac{x_2 - x_{2сер}}{x_{2int}} \right) \cdot \left(\frac{x_3 - x_{3сер}}{x_{3int}} \right) \dots$$

$$+ b_{13} \cdot \left(\frac{x_1 - x_{1сер}}{x_{1int}} \right) \cdot \left(\frac{x_3 - x_{3сер}}{x_{3int}} \right) + b_{jj_0} \cdot \left(\frac{x_1 - x_{1сер}}{x_{1int}} \right) \cdot \left(\frac{x_1 - x_{1сер}}{x_{1int}} \right) \dots$$

$$+ b_{jj_1} \cdot \left(\frac{x_2 - x_{2сер}}{x_{2int}} \right) \cdot \left(\frac{x_2 - x_{2сер}}{x_{2int}} \right) + b_{jj_2} \cdot \left(\frac{x_3 - x_{3сер}}{x_{3int}} \right) \cdot \left(\frac{x_3 - x_{3сер}}{x_{3int}} \right)$$

Кінцевий вигляд рівняння в натуральних величинах:

$f(x_1, x_2, x_3)$ simplify →

Для побудови поверхонь відгуку з постійним x_1 :

$f(x_{1sep} - x_{1int}, x_2, x_3)$ simplify →

$f(x_{1sep}, x_2, x_3)$ simplify →

$f(x_{1sep} + x_{1int}, x_2, x_3)$ simplify →

Для побудови поверхонь відгуку з постійним x_2 :

$f(x_1, x_{2sep} - x_{2int}, x_3)$ simplify →

$f(x_1, x_{2sep}, x_3)$ simplify →

$f(x_1, x_{2sep} + x_{2int}, x_3)$ simplify →

Для побудови поверхонь відгуку з постійним x_3 :

$f(x_1, x_2, x_{3sep} - x_{3int})$ simplify →

$f(x_1, x_2, x_{3sep})$ simplify →

$f(x_1, x_2, x_{3sep} + x_{3int})$ simplify →

$x_1 := 0.5 \quad x_2 := 3.2 \quad x_3 := 0.38$

Пошук оптимальних параметрів:

Пошук оптимальних параметрів:

$$x_{opt} := \text{Minimize}(f, x_1, x_2, x_3) = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 3.2 \\ 0.38 \end{pmatrix}$$

$x_1 := x_{opt}_0$

$x_2 := x_{opt}_1$

$x_3 := x_{opt}_2$

Мінімальне значення функції:

$$f(x_1, x_2, x_3) = 15.9$$

При:

$$x_1 = 0.5$$

$$x_2 = 3.2$$

$$x_3 = 0.38$$

Розрахункові вирази:

Інтервали зміни індексів:

$$d \equiv 0..m-1 \quad i \equiv 0..n-1 \quad j \equiv 0..2 \quad u \equiv n-3..n-1$$

Середнє значення функції відгуку:

$$YCER_i \equiv \frac{(Y_{i,0} + Y_{i,1} + Y_{i,2})}{3}$$

Коефіцієнти регресії:

$$b_0 \equiv \frac{\sum_u YCER_u}{3} \quad b_j \equiv \frac{\sum_i [(X^{(j)})_i \cdot YCER_i]}{8} \quad b_{12} \equiv \frac{\sum_i [(X^{(0)})_i \cdot (X^{(1)})_i \cdot YCER_i]}{4}$$

$$b_{13} \equiv \frac{\sum_i [(X^{(0)})_i \cdot (X^{(2)})_i \cdot YCER_i]}{4} \quad b_{23} \equiv \frac{\sum_i [(X^{(1)})_i \cdot (X^{(2)})_i \cdot YCER_i]}{4}$$

$$b_{jj} \equiv \left[\frac{\sum_i [(X_{i,j})^2 \cdot YCER_i]}{4} \right] - \left[\frac{\sum_j \sum_i [(X_{i,j})^2 \cdot YCER_i]}{16} \right] - \frac{b_0}{2}$$

Дисперсія результатів і-го досліджу:

$$Sy_{2,i} \equiv \frac{\sum_d (Y_{i,d} - YCER_i)^2}{m-1}$$

Дисперсія відтворюваності експерименту:

$$Sy_2 \equiv \frac{\sum_u (YCER_u - b_0)^2}{f_1} \quad f_1 \equiv (n_0 - 1)$$

Критерій Кохрена:

$$G_{\text{роз}} \equiv \frac{\max(Sy_2)}{\sum_i Sy_{2,i}} \quad YCER_i \equiv \text{if}(G_{\text{роз}} > G_{\text{таб}}, 0, YCER_i)$$

Дисперсії коефіцієнтів регресії та їх коваріації:

$$S_{b_0}^2 \equiv \frac{Sy_2}{3}$$

$$S_{b_j}^2 \equiv Sy_2 \cdot 0.125$$

$$S_{b_{jr}}^2 \equiv Sy_2 \cdot 0.25$$

$$COV_{b_0 b_{jj}} \equiv -0.16667 \cdot Sy_2 \quad COV_{b_{jj} b_{rr}} \equiv 0.0208 \cdot Sy_2 \quad S_{b_{jj}}^2 \equiv 0.2708 \cdot Sy_2$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 \equiv t \cdot \sqrt{S_{b_0^2}} \quad \Delta b_j \equiv t \cdot \sqrt{S_{b_j^2}} \quad \Delta b_{jr} \equiv t \cdot \sqrt{S_{b_{jr}^2}} \quad \Delta b_{jj} \equiv t \cdot \sqrt{S_{b_{jj}^2}}$$

число ступенів вільності дисперсії неадекватності:

$$b_j \equiv \text{if}(\Delta b_j > |b_j|, 0, b_j)$$

$$b_{12} \equiv \text{if}(\Delta b_{12} > |b_{12}|, 0, b_{12}) \quad b_{23} \equiv \text{if}(\Delta b_{23} > |b_{23}|, 0, b_{23}) \quad b_{13} \equiv \text{if}(\Delta b_{13} > |b_{13}|, 0, b_{13})$$

$$b_{jj_1} \equiv \text{if}(\Delta b_{jj_1} > |b_{jj_1}|, 0, b_{jj_1}) \quad b_{jj_2} \equiv \text{if}(\Delta b_{jj_2} > |b_{jj_2}|, 0, b_{jj_2}) \quad b_{jj_0} \equiv \text{if}(\Delta b_{jj_0} > |b_{jj_0}|, 0, b_{jj_0})$$

$$n_1 \equiv \sum_j \text{if}(b_j \neq 0, 0, 1) \quad n_2 \equiv \text{if}(b_{12} \neq 0, 0, 1) \quad n_3 \equiv \text{if}(b_{13} \neq 0, 0, 1) \quad n_4 \equiv \text{if}(b_{23} \neq 0, 0, 1)$$
$$f_2 \equiv 15 - (10 - n_1 - n_2 - n_3 - n_4)$$

Рівняння регресії:

$$YR_i \equiv b_0 + [b_0 \cdot [(X^{(0)})_i]] + [b_1 \cdot [(X^{(1)})_i]] + [b_2 \cdot [(X^{(2)})_i]] + [b_{j_0} \cdot [(X^{(0)})_i]^2] + [b_{j_1} \cdot [(X^{(1)})_i]^2] \dots$$
$$+ [b_{j_2} \cdot [(X^{(2)})_i]^2] + b_{12} \cdot (X^{(0)})_i \cdot (X^{(1)})_i + b_{13} \cdot (X^{(0)})_i \cdot (X^{(2)})_i + b_{23} \cdot (X^{(1)})_i \cdot (X^{(2)})_i$$

Дисперсія неадекватності:

$$S_{неад2} \equiv \frac{\sum_i (YR_i - YCER_i)^2}{f_2}$$

Критерій Фішера:

$$F_{розр} \equiv \frac{S_{неад2}}{S_y^2}$$

h := 0.2

$$y(Q, n) := 5.8517 \cdot Q - 0.02433 \cdot Q \cdot n - 0.0378 \cdot Q^2 - 0.11 \cdot n^2 + 7.3033 \cdot n + 1.1325 \cdot h - 285.901667$$

Діапазон зміни координати x :

$$x_{low} := 60 \quad x_{high} := 80$$

Кількість точок розбиття діапазону x :

$$x_n := 10$$

Діапазон зміни координати y :

$$y_{low} := 20 \quad y_{high} := 26$$

Кількість точок розбиття діапазону:

$$y_n := 7$$

$$i := 0..x_n - 1 \quad x_{ind}_i := x_{low} + i \cdot \frac{x_{high} - x_{low}}{x_n - 1}$$

$$j := 0..y_n - 1 \quad y_{ind}_j := y_{low} + j \cdot \frac{y_{high} - y_{low}}{y_n - 1}$$

$$M_{i,j} := y(x_{ind}_i, y_{ind}_j)$$

h := 0.6

$$\underline{y}(Q, n) := 5.8517 \cdot Q - 0.02433 \cdot Q \cdot n - 0.0378 \cdot Q^2 - 0.11 \cdot n^2 + 7.3033 \cdot n + 1.1325 \cdot h - 285.901667$$

Діапазон зміни координати x :

$$\underline{x}_{low} := 60 \quad \underline{x}_{high} := 80$$

Кількість точок розбиття діапазону x :

$$\underline{x}_n := 10$$

Діапазон зміни координати y :

$$\underline{y}_{low} := 20 \quad \underline{y}_{high} := 26$$

Кількість точок розбиття діапазону:

$$\underline{y}_n := 7$$

$$i := 0..x_n - 1 \quad x_{ind}_i := x_{low} + i \cdot \frac{x_{high} - x_{low}}{x_n - 1}$$

$$j := 0..y_n - 1 \quad y_{ind}_j := y_{low} + j \cdot \frac{y_{high} - y_{low}}{y_n - 1}$$

$$i := 0..xn - 1 \quad xind_i := xlow + i \cdot \frac{xhigh - xlow}{xn - 1}$$

$$j := 0..yn - 1 \quad yind_j := ylow + j \cdot \frac{yhigh - ylow}{yn - 1}$$

$$M1_{i,j} := y(xind_i, yind_j)$$

$$h := 1.2$$

$$y(Q, n) := 5.8517 \cdot Q - 0.02433 \cdot Q \cdot n - 0.0378 \cdot Q^2 - 0.11 \cdot n^2 + 7.3033 \cdot n + 1.1325 \cdot h - 285.901667$$

Діапазон зміни координати x :

$$xlow := 60$$

$$xhigh := 80$$

Кількість точок розбиття діапазону x :

$$xn := 10$$

Діапазон зміни координати y :

$$ylow := 20$$

$$yhigh := 26$$

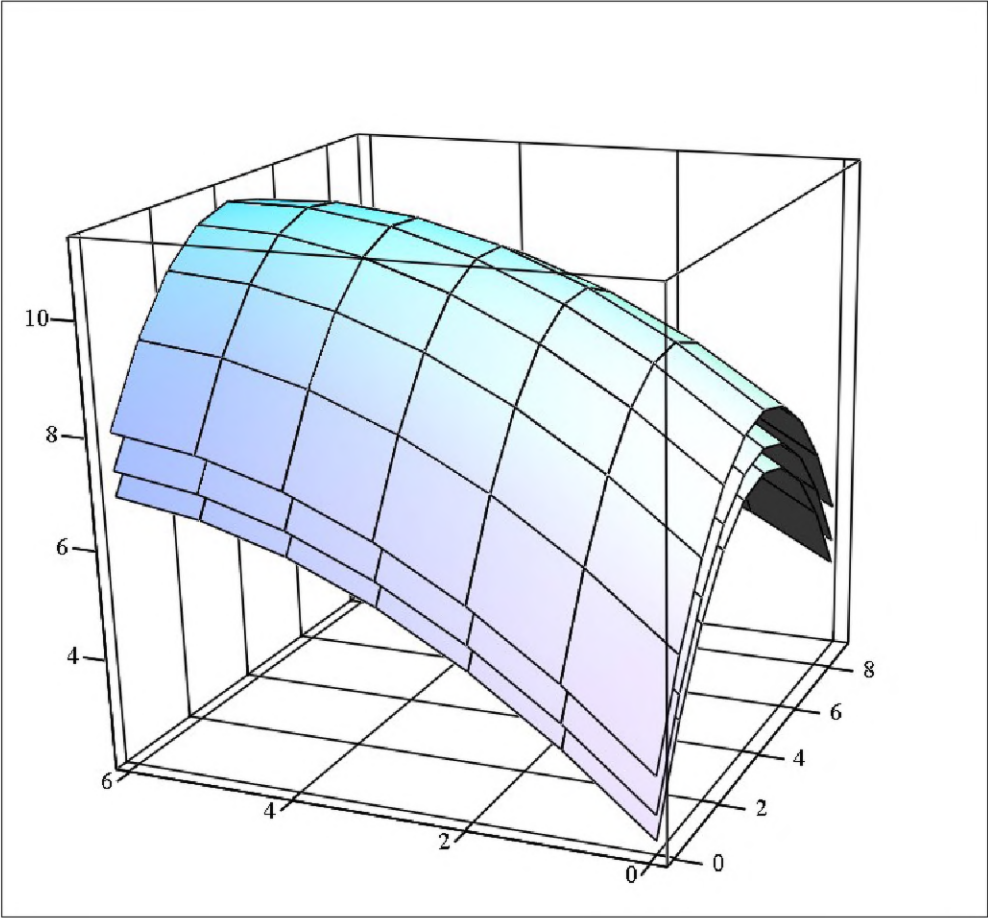
Кількість точок розбиття діапазону:

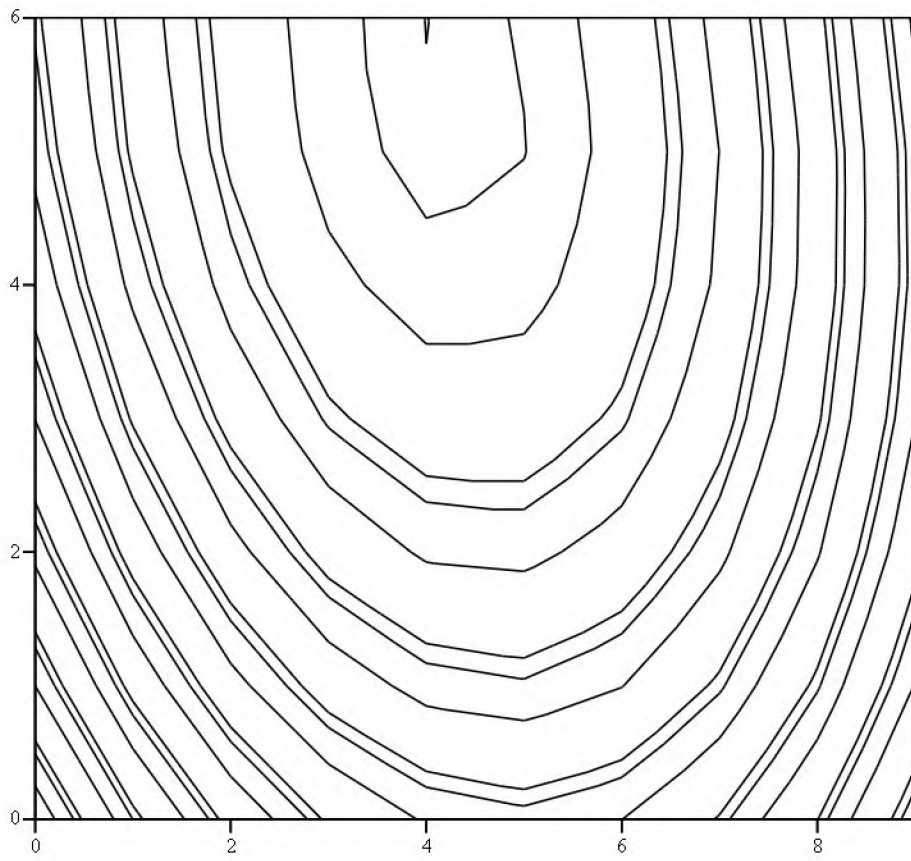
$$yn := 7$$

$$i := 0..xn - 1 \quad xind_i := xlow + i \cdot \frac{xhigh - xlow}{xn - 1}$$

$$j := 0..yn - 1 \quad yind_j := ylow + j \cdot \frac{yhigh - ylow}{yn - 1}$$

$$M2_{i,j} := y(xind_i, yind_j)$$





M, M1, M2