

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
гранулятора сипких кормів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМЗ-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Івлєва Вікторія Володимирівна

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро, 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

МВПТ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

24» січня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Івлєвій Вікторії Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора сипких кормів

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 24 » січня 2022 року № 120

2. Строк подання студентом роботи 14.02.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Стан питання процесів, машин та обладнання для навантаження, підготовки та гранулювання сипких кормів, способи підвищення ефективності гранулювання кормів. Періодична наукова література, патентні бази даних, нормативні документи щодо гранулювання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Класифікація, огляд і аналіз конструкцій грануляторів кормів. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора сипких кормів. 3. Лабораторні дослідження прес-гранулятора з горизонтальними матрицями. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка розробленого гранулятора. Загальні висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і завдання досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Економічна оцінка розробки (1 аркуш, А4). 5. Загальні висновки (1 аркуш, А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.01.2022 р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 08.01.2022 р.	
2	Теоретичний	до 17.01.2022 р.	
3	Експериментальний	до 27.01.2022 р.	
4	Охорона праці	до 07.02.2022 р.	
5	Економічний	до 10.02.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 14.02.2022 р.	

Студент

(підпис)

Івлєва В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Івлєва В.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора сипких кормів / Випускова кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

Дипломна робота складається з п'яти розділів. У першому розділі наведено класифікацію та виконано аналіз існуючих способів гранулювання кормів; огляд конструкцій прес-грануляторів вітчизняного та закордонного виробництва, вибір оптимальної конструктивно-технологічної схеми пристрою. У другому розділі теоретично обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри запропонованої конструкції гранулятора. У третьому розділі викладено методику та результати лабораторних досліджень запропонованого зразку гранулятора сипких кормів. Четвертий розділ містить оцінку стану охорони праці на підприємстві та проект інструкції з охорони праці оператора лінії гранулювання кормів. На завершальному етапі було виконано оцінку економічної ефективності застосування запропонованої конструкції гранулятора.

Ключові слова: прес-гранулятор, колесо-матриця, ділильне коло, фільтера, евольвентний профіль, кришимість гранул, компромісна задача

Шляхи підвищення продуктивності шестеренного гранулятора кормів / Івлєва В.В. // Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. студ. наук.-практ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – С. 72-74

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 КЛАСИФІКАЦІЯ, ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГРАНУЛЯТОРІВ КОРМІВ	9
1.1 Порівняльний аналіз грануляторів кормів	9
1.2 Порівняльний аналіз робочих органів шестеренних прес-грануляторів	15
1.3 Результати порівняльного аналізу робочих органів шестеренних прес-грануляторів і вибір його конструктивно-технологічної схеми	21
1.4 Висновки	27
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЯТОРА СИПКИХ КОРМІВ	28
2.1 Шляхи підвищення продуктивності прес-гранулятора з горизонтальними матрицями	30
2.2 Аналіз об'ємних елементів робочих коліс прес-гранулятора	37
2.3 Деформація кормів у робочому просторі прес-гранулятора	43
2.4 Тиск і робота стискання кормів у шестеренному прес-грануляторі	47
2.5 Аналіз діючих сил у робочому органі та потужність приводу шестеренного прес-гранулятора	48
2.6 Висновки	50
3 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ МАТРИЦЯМИ	52
3.1 Програма та методи лабораторних досліджень	52
3.2 Результати лабораторних досліджень	55
3.3 Висновки	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
4.1 Дослідження стану охорони праці у лабораторії	66
4.2 Розробка проєкту інструкції з охорони праці для оператора лінії гранулювання кормів	67

4.3	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	72
4.4	Висновки	73
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ГРАНУЛЯТОРА	74
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	80
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Тваринництво та рослинництво є основою для виробництва якісної харчової продукції. Для розвитку галузі тваринництва потрібно створення міцної кормової бази. При виробництві м'яса та молока частка кормів у собівартості становить 60...75 %.

Корми – вихідна сировина для забезпечення тварин енергією та поживними речовинами, що необхідні для підтримання функціонального стану організму, його росту, розвитку і виробництва продукції. Збалансована та повноцінна годівля – найперша умова розвитку високопродуктивного тваринництва. Від організації кормової бази залежать і економічні передумови розвитку тваринництва. При створенні міцної кормової бази для розвитку тваринництва та птахівництва одночасно з розширенням посівів кормових культур та підвищення їх врожайності дуже важливо розширювати виробництво комбікормів.

Раціональна годівля сільськогосподарських тварин та птахів багато в чому визначає їх ріст, розвиток та продуктивність. Будь-який кормовий раціон має як переваги, так і недоліки. Кормів, в яких були б всі необхідні для організму тварин поживні речовини у потрібній кількості практично немає. Однак, знаючи характеристику окремих компонентів, можна отримати суміш, у якій в оптимальному співвідношенні будуть основні поживні речовини і вітаміни. Така суміш називається комбінованим кормом чи комбікормом.

Підвищення виробництва комбікорму є важливим завданням комбікормової промисловості. З іншого погляду розсипні комбікорми мають ряд недоліків: гігроскопічність, малу об'ємну масу, властивість розшарування при переміщенні, що негативно впливає на його якість. Найбільш ефективний спосіб усунення вказаних недоліків – гранулювання. У зв'язку з цим комбікормові підприємства оснащені спеціальним обладнанням для гранулювання.

Зі збільшенням виробництва комбікормів необхідно покращувати їх якість та розширювати асортимент, забезпечувати умови для механізації процесу годівлі тварин та птахів, поліпшувати умови навантаження,

зберігання та транспортування комбікормів, кращу збереженість поживних і біологічно активних речовин та вітамінів.

Збільшення виробництва гранульованого корму вимагає вдосконалення існуючих технологій, машин та обладнання у напрямку зменшення енергоємності машин та підвищення якості кормів.

На сучасному етапі для гранулювання кормів застосовують преси-гранулятори, що мають різну продуктивність та потужність приводу. З установок вітчизняного виробництва широко застосовуються преси-гранулятори ДГ-1; Б6-ДГВ; Б6-ДГЕ; Е8-ДГБ. Не зважаючи на наявність цих установок, існує необхідність розробки нового обладнання для гранулювання комбікормів. Пов'язано це з тим, що на зазначених установках проводиться гранулювання дуже великого асортименту матеріалів, а більшість існуючих грануляторів не має механізму регулювання каналу пресування, з-за чого рівень енергоємності у них завищений. Існуючі преси-гранулятори мають значну матеріаломісткість і, відповідно, великі габарити та масу. Малогабаритне обладнання для переробки, зберігання та приготування гранульованих кормів представлене на ринку у дефіциті, в основному закордонного виробництва.

Мета досліджень: підвищення ефективності гранулювання сипких кормів гранулятором з горизонтальними матрицями шляхом обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення мети досліджень сформовано наступні завдання:

- аналіз існуючих конструкцій грануляторів та перспективи їх розвитку;
- теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора;
- проведення лабораторних досліджень гранулятора;
- аналіз удосконаленої конструкції з точки зору охорони праці;
- оцінка економічних показників гранулятора.

Об'єкт дослідження – технологічний процес гранулювання кормів і гранулятор з горизонтальними матрицями для його забезпечення.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії робочих органів гранулятора, оснащеного горизонтальними матрицями, з кормом.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ, ОГЛЯД І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГРАНУЛЯТОРІВ КОРМІВ

1.1 Порівняльний аналіз грануляторів кормів

Прес-гранулятори в залежності від типу робочих органів поділяють на:

- вальцеві – прокочуючого типу;
- видавлюючого типу з формуванням брикетів у каналі пресування (з пласкою або кільцевою матрицею);
- формуючого типу в закритому каналі пресування (штемпельні і поршневі), а також за допомогою пристроїв протитиску (до них відносяться екструдери та шнекові преси).

Г.Я. Фарбманом [1] запропонована класифікація технічних засобів ущільнення кормів і кормосумішей сухим способом. Основні типи прес-грануляторів для отримання гранул з кормової суміші наведено на рис. 1.1.

За конструкцією [1] прес-гранулятори розділені на п'ять різних груп.

До першої віднесені прес-гранулятори, гранули в яких формуються у спеціальних лунках, виконаних на поверхні валків, що обертаються зустрічно один відносно одного [2, 3]. У таких лунках або заглибленнях матеріал, що пресується, спочатку стискається, а потім випадає. Такі пристрої не здатні забезпечити високу міцність і щільність отриманих гранул у зв'язку з короткою витримкою сировини під тиском.

До другої віднесені гранулятори шестеренного типу. У них матеріал, що подається у порожнину між шестернями, вдавлюється голівкою зуба в канал пресування, протитиск стиснутому матеріалу забезпечується силами тертя. Гранули, що видавлюються з каналу пресування, обламуються нерухомим ножом. На шестеренних прес-грануляторах найчастіше отримують гранули

діаметром 10...14 мм. Такі гранулятори все ще недостатньо повно досліджені, а також недостатньо обґрунтовані їх параметри.

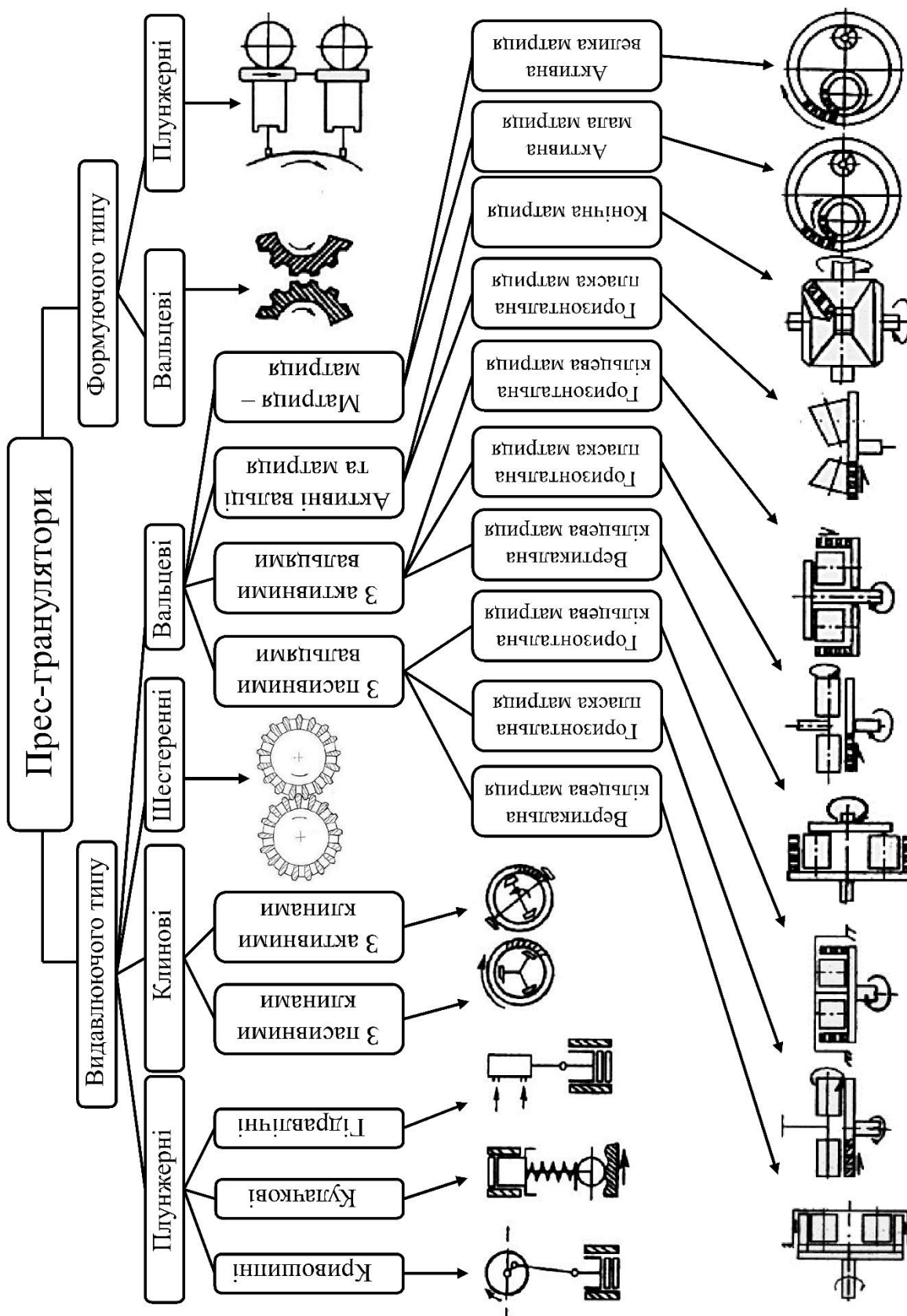


Рисунок 1.1 – Класифікація прес-грануляторів для отримання кормових гранул

У третій групі зібрані преси, обладнані нерухомими матрицями, що мають відповідний діаметр отворів, через які сировина продавлюється шнеком [4, 8]. У них сформовані гранули відокремлюються також ножем. Преси такої конструкції використовуються в основному для виготовлення комбікормів при вологому пресуванні. Вони вимагають застосування спеціальних сушарок та мають низьку продуктивність.

До четвертої групи віднесені прес-гранулятори, обладнані горизонтально розташованими плоскими матрицями [5]. Спресовані гранули в них видавлюються з каналів пресування під дією роликів, що обертаються. На пресах такої конструкції характерне значне зношування робочих органів, так як під дією відцентрових сил спресований матеріал відкидається до периферії робочої матриці і порушується рівномірність навантаження на поверхню матриці.

Преси-гранулятори п'ятої групи набули найбільшого поширення. Вони обладнані вертикальною або горизонтальною обертовою кільцевою матрицею, що має радіальні отвори [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Вихідна сировина, потрапляючи в камеру пресування, подається спеціальним скребком у проміжок між поверхнею обертової матриці і встановленими над нею пресуючими роликами. Вони проштовхують матеріал через канали пресування, виконані у матриці. Потім готові гранули обламуються спеціальним ножем.

Такі преси мають ряд суттєвих недоліків, серед яких:

- не досить повне використання робочої частини поверхні матриці під канали пресування, їх сумарний переріз не перевищує 40 %;
- створення надмірного тиску для зсуву стисненого корму з перемичок у матричні канали;
- підвищені затрати електроенергії на процес впресовування шару корму у канали пресування, при якому відбувається руйнування частинок матеріалу краєм фільтри;

- суттєве нагрівання при зсуві частинок корму з перемичок фільтер під високим тиском, а також втрати тепла у навколишнє середовище.

У промисловості найбільше використання отримали брикетні преси зі штемпельними робочими органами, які мають відкриті канали пресування. Вони дозволяють виготовити брикети досить високої якості за рахунок меншого подрібнення сировини та забезпечення більш тривалої витримки брикетів у напруженому стані. Ці пристрої мають також низьку енергоємність пресування (до 22,5 кДж/кг) [12]. Але такі преси мають також недоліки, основними з яких являється відносно мала пропускна спроможність, на яку впливає кількість каналів пресування та їх поперечний переріз, а також частота робочих ходів штемпеля. Порівняно значна також їх матеріаломісткість. Найчастіше преси зі штемпельними робочими органами використовують при ущільненні грубих кормів [13].

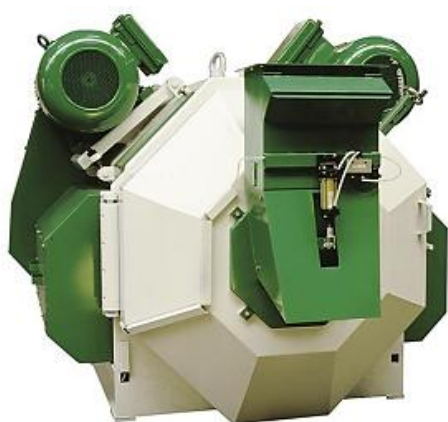
Виробництво промислових прес-грануляторів на сьогоднішній день здійснюється закордонними фірмами: «Sprout-Bayer», «Sprout-Matador», «Van Aarsen», «BUHLER», «Agrotekhnolodzhi» та ін. [14] (рис. 1.2; 1.3; 1.4).



Рисунок 1.2 – Гранулятор кормів PMV515W фірми «Sprout-Matador» (Данія)

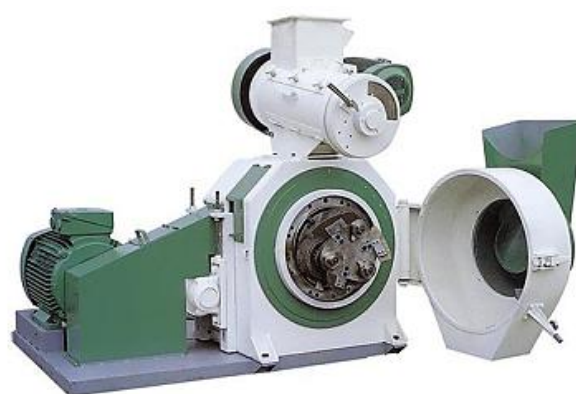


Рисунок 1.3 – Гранулятор «Компакт» 750 фірми «Van Aarsen» (Нідерланди)



а

а) серії «Прогресс»



б

б) серії «НВ»

Рисунок 1.4 – Прес-гранулятори фірми «Agrotekhnolodzhi» (Данія)

Нижче наведено технічні характеристики та параметри деяких з них.

Таблиця 1.1 – Основні технічні параметри окремих моделей прес-грануляторів РМV та РМ фірми «Sprout-Matador» (Данія)

Показники	Тип гранулятора			
	PMV2	PM615W	PMV515W	PM707W
Продуктивність, т/год	2,2...3,2	13...16	6...22	16...40
Основний ел. двигун: потужність, кВт	30,0	200,0	110,0	250,0
Частота обертання, хв. ⁻¹	900	990	990	1450
Матриця: внутрішній діаметр, мм	300	600	530	700

ефективна ширина, мм	60	160 (180)	150	180 (240)
ефективна площа, м ²	0,06	0,3 (0,37)	0,25	0,4 (0,55)
колова швидкість, м/с	4,2	6,5 / 7,8	6,2	3,6 / 5,6
Прес-ролики: кількість, од.	2	2	2	3
зовнішній діаметр, мм	132	282	255	316
Загальна маса, кг	955	3310	4510	8510

Таблиця 1.2 – Основні технічні параметри окремих моделей прес-грануляторів «Компакт» фірми «Van Aarsen» (Нідерланди)

Показники	Компакт			
	500	600	750	900
Потужність основного ел. двигуна при частоті обертання 1450 хв. ⁻¹ , кВт	75-110	90-132	132-200	200-315
Матриця: внутрішній діаметр, мм	500	600	750	900
ефективна ширина, мм	160 / 190	220 / 225	215 / 250	250 / 275
ефективна площа, м ²	0,25 / 0,29	0,38 / 0,43	0,51 / 0,59	0,64 / 0,78
частота обертання, хв. ⁻¹	215 / 268	158 / 198	132 / 148	140 / 148
Лінійна швидкість матриці, м/с	4,7 / 7,2	4,8 / 6,4	5,0 / 5,7	6,8 / 7,2
Діаметр пресуючих роликів, мм	242	288	362	436

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика установок для гранулювання комбікорму серії «Прогресс» (Данія)

Тип	Потужність ел. двигуна, кВт	Кількість роликів, од.	Діаметр ролика, мм	Діаметр матриці, мм	Розміри матриці (ширина), мм	Розміри матриці (площа), см ²	Загальна маса, кг
280	22 / 30	3	130	282	62	528	1710

580	2×75	2 / 3	266	582	152	2735	6100
650BC	2×90	2 / 3	300	652	176	3575	7100
700	2×90	2 / 3	316	705	192	4178	7100
850	2×132	2 / 3	392	855	212	5608	7600
900	2×132	2 / 3	406	900	230	6448	8100
900BC	2×160	2 / 3	406	900	276	7776	8300
1100	2×315	2 / 3	505	1110	300	10360	18600
1100BC	2×315	2 / 3	505	1110	385	13124	18600

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика установок для гранулювання комбікорму серії «НВ» (Данія)

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

1.2 Порівняльний аналіз робочих органів шестеренних прес-грануля-торів

У процесі аналізу різних грануляторів шестеренного типу виникає необхідність визначення найбільш оптимальної схеми пристрою. Для цього нами використано новий критерій оптимізації.

При цьому обмежимося порівнянням схем шестеренних грануляторів, що належать до одного типу, оскільки можливих варіантів багато і вибір буде надзвичайно складним. Припустимо, що ці схеми мають бути лише видавлюючого типу. Якщо зрівнювати гранулятори, що формують матеріал за різними

принципами, то їх енерговитрати також будуть різними. Тому, порівнюючи альтернативні схеми за продуктивністю, не враховуємо відмінності у енерговитратах виробництва. З цих же міркувань у порівняльному аналізі не розглядаємо видавлюючі шестеренні гранулятори не плунжерного, а лопатевого впливу на матеріал.

Для порівняння приймаємо головним критерієм оцінки питомою продуктивністю пристроїв, тобто продуктивність грануляторів у перерахунку на одиницю ефективної площі робочих органів – матриць та вальців, що мають канали пресування. Оскільки схеми можуть бути як для вальців з каналами пресування, так і без них, необхідне додаткове обмеження за габаритами пристроїв. Очевидно, що схеми з великими матрицями та досить великими вальцями внутрішнього зачеплення, які повинні мати порожнину всередині них для вивантаження гранул, відносяться до габаритного обладнання. Якщо за базовий розмір коліс взяти діаметр діляльного кола матриці, то аналогічний розмір для коліс зовнішнього зачеплення виявиться практично неможливим. Ще одне припущення стосується порівняння варіантів, коли матриця є активною, тобто обертається, або пасивною (нерухомою). Взаємодія робочих поверхонь матриці та вальця відбувається аналогічно у будь-якому з варіантів. Різниця полягає у відділенні гранул та виході їх з гранулятора. Тому можуть бути відмінності у трансмісії та додаткових приводах, наприклад, для переміщення ножа-відокремлювача. На даному етапі досліджень додаткові пристрої не розглядаються.

Для порівняння приймаємо основні параметри лише матриці та вальців, тобто параметри робочого органу.

Продуктивність пристроїв визначається як

$$Q = qKS, \quad (1.1)$$

де q – питома продуктивність прохідного перерізу каналу пресування, $\text{кг/с}\cdot\text{см}^2$;

K – кількість каналів пресування;

S – площа поперечного перерізу каналу пресування, см^2 .

Коефіцієнт використання живого перерізу каналів пресування повинен враховувати не лише геометричну частину каналів пресування на поверхні матриці, але й деякі технологічні особливості та відмінності у виконанні робочих зубів матриці та вальця. Одні з них можуть сприяти додатковому введенню сировини до каналів пресування. Інші, навпаки, можуть обмежувати геометричну подачу. Розглянемо це питання дещо пізніше при аналізі умов подачі сировини для кожної схеми пресу.

Прийнявши ширину робочого колеса у відповідності до одного ряду каналів пресування для всіх варіантів порівняння, для оцінки їх за критерієм продуктивності Π можна використовувати наступний вираз:

$$\Pi = nDKq, \quad (1.2)$$

де n – кількість коліс з каналами пресування, а вираз nD визначає загальний периметр поверхонь з каналами пресування.

Номер за шкалою оцінювання призначаємо від варіанту з найбільшою продуктивністю до варіанту з найменшою продуктивністю у відсотковому співвідношенні.

Геометричним обмеженням приймаємо максимальний розмір зовнішнього діаметра D матриці або колеса зовнішнього зачеплення. У масовому виробництві він обмежений величиною 300...310 мм, якщо враховувати можливості промислового токарного та фрезерного обладнання. Очевидно, що кількість варіантів порівняння різко зменшується, оскільки схеми типу «зовнішня матриця і внутрішні колеса-матриці» відхиляються.

На цій підставі для порівняння обираємо наступні схеми шестеренних прес-грануляторів видавлюючого типу з плунжерним впливом на матеріал:

1) зовнішнього зачеплення:

- два рівновеликих колеса-матриці;
- велике колесо-матриця та мале пресуюче колесо;

2) внутрішнього зачеплення:

- зовнішня матриця та внутрішній пресуючий валець;
- зовнішня матриця та два внутрішні пресуючі вальці.

Варіант зовнішнього зачеплення з великим пресуючим колесом і малою матрицею виключаємо як не вигідний з точки зору продуктивності.

Аналізуючи варіанти з горизонтальним або вертикальним розташуванням матриці, приймаємо горизонтальне розташування з одним рядом каналів пресування. У такому випадку з розгляду виключаються відмінності в умовах подачі та затримання сировини на робочій поверхні матриці.

Відібрані для порівняння варіанти наведено на рис. 1.5. Очевидно, що ці схеми можуть бути побудовані за двома варіантами кожна. Це обумовлено можливістю передачі крутного моменту, оскільки активною може бути матриця або пресуючий валець.

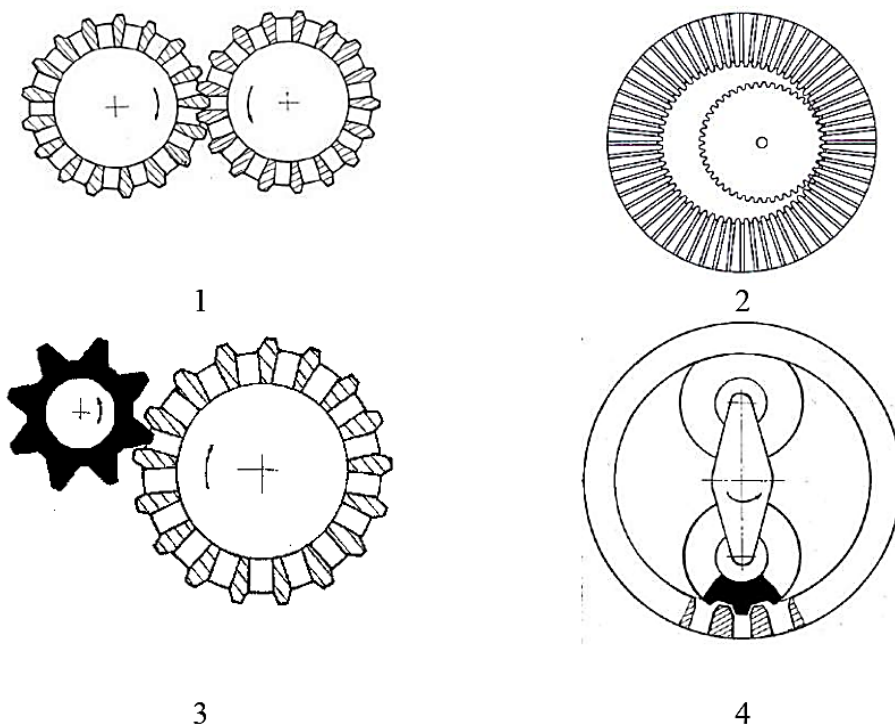


Рисунок 1.5 – Схеми порівняння робочих органів шестеренних прес-грануляторів: 1 – два рівновеликих колеса-матриці; 2 – зовнішня матриця та внутрішній пресуючий валець; 3 – велике колесо-матриця та мале пресуюче колесо зовнішнього зачеплення; 4 – зовнішня матриця та декілька внутрішніх пресуючих вальців

Іншим критерієм для порівняльної оцінки є матеріаломісткість робочих органів. Для цього введемо наступні припущення: робочі колеса та матриці розглядаємо як кільця відповідних діаметрів, а пресуючі вальці та колеса - як суцільні диски.

Відібрані за цим критерієм варіанти схем заміщення робочих органів наведено на рис. 1.6. Їх матеріаломісткість порівнюємо за спрощеною площею наведених елементів.

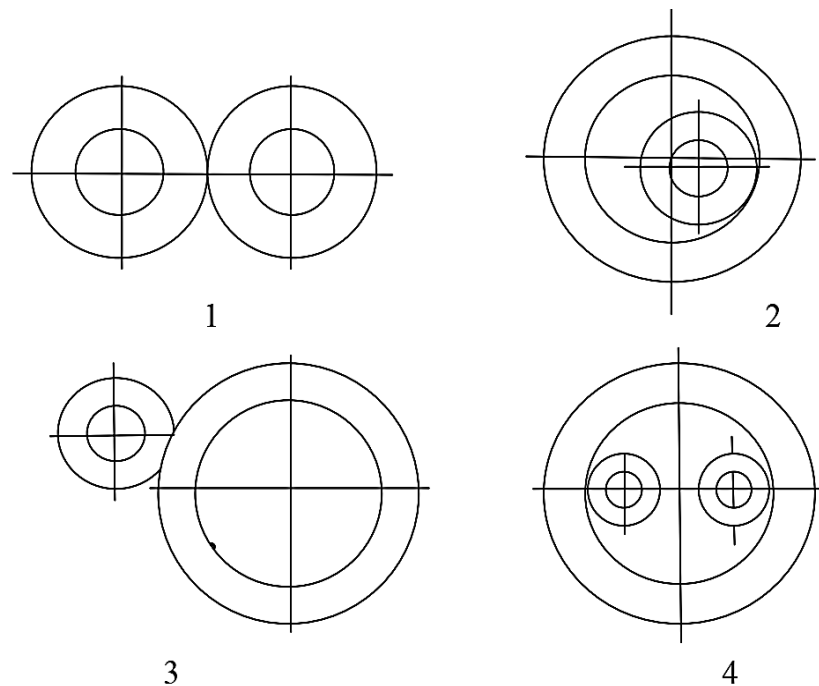


Рисунок 1.6 – Еквівалентні схеми заміщення робочих органів для оцінки матеріаломісткості шестеренних прес-грануляторів

Тоді за варіантом 1 (рис. 1.6) маємо

$$S_1 = 4\pi Rh, \quad (1.3)$$

- за варіантом 2

$$S_2 = 4\pi Rh + S_6, \quad (1.4)$$

- за варіантом 3

$$S_3 = 4\pi Rh + S_k, \quad (1.5)$$

- за варіантом 4

$$S_4 = 4\pi Rh + nS_6, \quad (1.6)$$

де S_6 – площа поверхні пресуючого вальця; S_k – площа поверхні пресуючого колеса; h – ширина кільця пресуючого колеса.

Довжина каналу пресування зазвичай складає від 5 до 8 діаметрів гранули. У частках від радіуса, прийнявши наближено за базове значення діаметр матриці 300 мм і гранули діаметром 10 мм, це складає 1/6 діаметра матриці або 1/3 радіуса. Тоді для оцінки матеріаломісткості залежності (1.3...1.6) приймають наступний вигляд:

- за варіантом 1

$$S_1 = 4\pi R^2 / 3, \quad (1.7)$$

- за варіантом 2

$$S_2 = 4\pi R^2 / 3 + S_6, \quad (1.8)$$

- за варіантом 3

$$S_3 = 4\pi R^2 / 3 + S_k, \quad (1.9)$$

- за варіантом 4

$$S_4 = 4\pi R^2 / 3 + nS_6. \quad (1.10)$$

Наступним критерієм оцінки приймаємо складність, і, як наслідок, матеріаломісткість приводу робочого органу. Оскільки конкретні параметри приводу специфічні для кожного пристрою, спосіб оцінки необхідно

спростити. Оцінимо загальне передатне число трансмісії. Пристрої з меншим передатним числом мають перевагу порівняно з грануляторами з більш складним приводом.

Окрім приводу основних елементів у грануляторі може використовуватись привод додаткових механізмів. Наявність або відсутність потреби у таких механізмах позначимо у таблиці додатковими знаками «+» або «-». При порівняльній оцінці прес-грануляторів така градація буде використана як додатковий аргумент у шкалі оцінювання пристроїв з різними схемами компонування.

1.3 Результати порівняльного аналізу робочих органів шестеренних прес-грануляторів і вибір його конструктивно-технологічної схеми

Для порівняння відібрано схеми шестеренних прес-грануляторів видавлюючого типу з плунжерним впливом на матеріал (див. розділ 1.2):

- 1) два рівновеликих колеса-матриці;
- 2) велике колесо-матриця та мале пресуюче колесо;
- 3) зовнішня матриця та внутрішній пресуючий валець;
- 4) зовнішня матриця та два внутрішні пресуючі вальці.

Перший варіант робочих органів гранулятора має жорсткі обмеження за геометрією зчеплення двох коліс. Робоча поверхня еквівалентна довжині двох кіл. Максимально, що можна використати при проектуванні каналів пресування – застосувати розмір каналу пресування, що дорівнює довжині дуги ділильного кола. У цьому випадку максимальна частка каналів пресування, тобто загальний коефіцієнт використання живого перерізу каналів пресування K_1 складає максимум 50 %, тоді критерій оцінки продуктивності становить

$$P_1 = 2DK_1q = Dq. \quad (1.11)$$

Другий варіант з великим колесом-матрицею та малим пресуючим колесом, щоб мати таку ж робочу площу, повинен мати подвоєний діаметр.

Але у відсотковому співвідношенні канали пресування можуть займати максимум 75 % від загальної площі колеса. Такий спосіб фрезерування зубчатого вінця забезпечує критерій оцінки продуктивності

$$P_2 = 2DK_2q = 1,5Dq. \quad (1.12)$$

Третій варіант відповідає попередньому. Але, якщо внутрішній вінець матриці виготовити з повним загостренням голівок зубів, у зону стиснення залучається матеріал, що надходить до всієї робочої поверхні матриці, тобто $K_3 = 100\%$, тоді

$$P_3 = 2DK_3q = 2Dq. \quad (1.13)$$

Четвертий варіант має додаткову взаємодію з другим вальцем. Гранула формується більш дрібними частинками, але швидше; матеріал довше знаходиться під максимальним тиском і швидко ущільнюється.

Прискорення процесу релаксації напружень у гранулі збільшує продуктивність преса на 15...20 % [15, 16]. Отже, геометричний коефіцієнт живого перерізу може досягати 100 %, а додатковий 15 %.

У такому випадку

$$P_4 = 2DK_4q = 2,3Dq. \quad (1.14)$$

Номер рангового місця призначався від варіанту з більшою продуктивністю до варіанту з найменшою продуктивністю. Чисельне значення визначалося відношенням продуктивності.

Матеріаломісткість порівнювали за площею наведених фігур за залежностями (1.7) – (1.10).

Як зазначалося раніше, довжина каналу пресування становить від 5 до 8 діаметрів гранули або в частках від радіусу, для базового значення діаметру 300 мм та гранули діаметром 10 мм, приблизно 1/6 діаметру матриці. Довжина

каналу пресування або ширина кільця фігур на рис. 1.6 буде дорівнювати $h = 1/3$ радіусу. Для одного внутрішнього вальця його радіус прийнято як $2/3$ від вихідного у матриці. Радіус трьох внутрішніх вальців прийнято $1/3$ від радіусу матриці. Тому для оцінки матеріаломісткості наведених схем маємо:

- за варіантом 1

$$S_1 = 4\pi R^2 / 3 \text{ або } \pi R^2 12/9, \quad (1.15)$$

- за варіантом 2

$$S_2 = 4\pi R^2 / 3 + 4\pi R^2 / 9 \text{ або } \pi R^2 16/9, \quad (1.16)$$

- за варіантом 3

$$S_3 = 4\pi R^2 / 3 + 4\pi R^2 / 9 \text{ або } \pi R^2 16/9, \quad (1.17)$$

- за варіантом 4

$$S_4 = 4\pi R^2 / 3 + 3\pi R^2 / 9 \text{ або } \pi R^2 15/9. \quad (1.18)$$

Матеріаломісткість першого варіанту (див табл. 1.5) приймемо за одиницю виміру, оскільки параметр цієї схеми мінімальний. Тоді решту схем можна оцінювати відносно першого варіанту.

Другою за матеріаломісткістю буде четверта схема. А другий та третій варіанти схем рівнозначні між собою, але знаходяться на третьому та четвертому місцях з однаковим параметром матеріаломісткості.

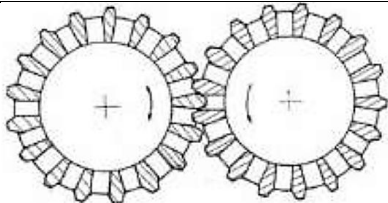
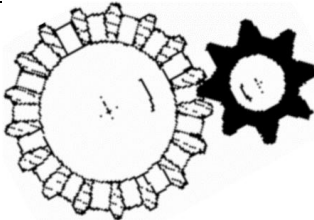
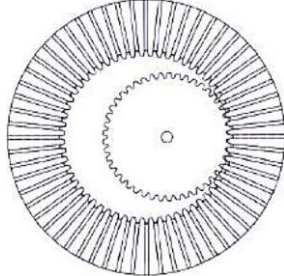
За продуктивністю (табл. 1.5) найкращий критеріальний показник у четвертій схеми. Наступною за рангом виявляється схема внутрішнього зачеплення з одним вальцем. На третьому місці знаходиться схема зовнішнього зачеплення з великим колесом-матрицею і малим пресуючим вальцем. Найменший відносний показник продуктивності у схеми зовнішнього зачеплення двох рівновеликих коліс-матриць.

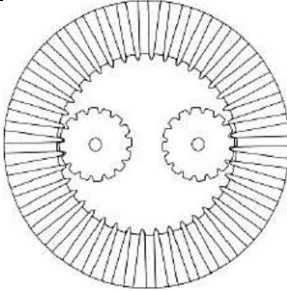
Сумарна оцінка конструкційно-технологічних схем визначена за співвідношенням критерію продуктивності до критерію матеріаломісткості.

Порівняння робочих органів за двома основними критеріями призвело до висновку про те, що за продуктивністю найкращою схемою є четверта: кільцева матриця з внутрішнім розташуванням двох пресуючих вальців.

За матеріаломісткістю найбільш економічною є схема з двома рівновеликими колесами-матрицями зовнішнього зачеплення. Сумарне місце за двома критеріями свідчить про переваги четвертої схеми шестеренного прес-гранулятора. Але для подальших досліджень робочого процесу гранулювання сипких кормів доцільно використати схему з двома рівновеликими колесами-матрицями зовнішнього зачеплення, яка з технологічних міркувань для малогабаритного обладнання в умовах приватного сектору виробництва гранульованих кормів є найбільш доцільною.

Таблиця 1.5 – Порівняльна оцінка основних конструктивних схем шестеренних прес-грануляторів

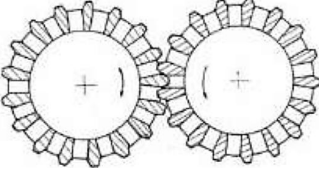
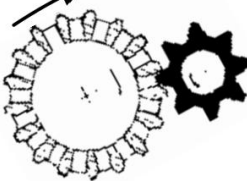
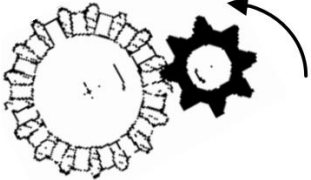
№ з/п	Схема прес-гранулятора		Місце за продуктивністю	Місце за матеріаломісткістю	Сумарне місце за двома критеріями
	Номер варіанту	Схема робочих органів			
1	1		1	1	$1:1 = 1$
2	2		1,5	$16/12 = 1,32$	$1,5:1,32 = 1,14$
3	3		2	$16/12 = 1,32$	$2:1,32 = 1,51$

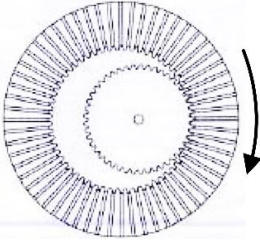
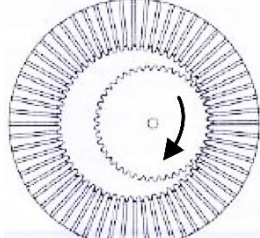
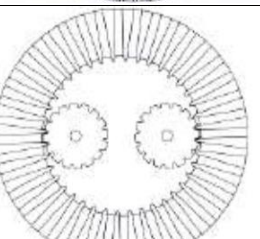
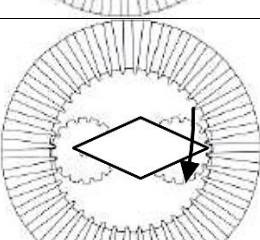
4	4		2,3	$14/12 = 1,26$	$2,3:1,26 = 1,85$
---	---	---	-----	----------------	-------------------

Використовуючи геометричні співвідношення схем, наведених у таблиці 1.5, і прийнявши за відправний стан кількість обертів привідного колеса, розраховуємо передатне число трансмісії і вносимо у таблицю 1.6 критеріальної оцінки схем прес-грануляторів.

Тривалість перебування кормосуміші у каналі пресування приймаємо рівною для всіх варіантів. Це обмеження зрівнює схеми за умовою зміцнення гранул у каналі пресування. Кутова швидкість елементів з каналами пресування також прийнята рівнозначною для наведених схем.

Таблиця 1.6 – Критеріальна оцінка схем прес-грануляторів

№ з/п	Схема прес-гранулятора		Місце за продуктивністю	Місце за матеріаломісткістю	Загальна оцінка	Інші відмінності
	Номер варіанту	Схема робочих органів				
1	1		1	1	1	–
2	2		1,5	1,32	1,14	–
3	2-1		1,5	1,32	1,14	+

4	3		2	1,32	1,51	–
5	3-1		2	1,32	1,51	+
6	4		2,3	1,26	1,85	–
7	4-1		2,3	1,26	1,85	+

Для першого варіанту передатне відношення приймаємо i . Привід здійснюється на будь-яке з двох однакових коліс. Варіанти з паралельно розміщеною синхронізуючою передачею не розглядаємо.

Для другого варіанту передатне відношення дорівнює $i / 3$ у тому випадку, коли обертовий момент підведений до малого колеса. А якщо приводним буде колесо-матриця, то передатне відношення передачі дорівнює i .

Для третього варіанту ситуація аналогічна: якщо матриця активна, то привід повинен розраховуватися на відношення i , а якщо матриця пасивна, то на валець обертовий момент підводиться з передатним відношенням $i / 3$.

Для четвертого варіанту: якщо матриця активна – достатньо передатного відношення передачі i . А якщо матриця буде пасивна (нерухома), то для водила з пресуючими вальцями передатне відношення має бути рівним $i / 3$.

Оскільки за розрахунками найкращі варіанти схем мають аналогічні показники за простотою конструкції, приймаємо кодоване позначення для

кращих варіантів знаком «+», а складніші схеми оцінюємо знаком «-». У таблиці 1.6 додано останню колонку з оцінкою категорії складності привідної трансмісії. Додатковий критерій вводимо з метою розширення аналізу схем прес-грануляторів не тільки для спрощених умов експлуатації у фермерських чи невеликих приватних господарствах, а й для сфери промислового використання прес-грануляторів на спеціалізованих комбікормових заводах.

З урахуванням додаткового критерію кількість варіантів збільшилася.

Найкращим варіантом за даними таблиці 1.6 є схема з зовнішньою матрицею та привідними внутрішніми вальцями. Дуже близький до неї варіант з одним внутрішнім привідним вальцем. За забезпеченням передачі обертового моменту до робочих елементів явну перевагу мають конструкційно-техно-логічні схеми з пасивною матрицею (нерухомою) і активними внутрішніми вальцями. Але такі схеми вимагають додаткового пристрою для поділу моноліту на частини та виведення гранул за межі пресу. Потрібний буде також і додатковий привід.

Для виключення відмінностей в умовах подачі та утримання матеріалу на робочій поверхні зубчатих коліс для гранулятора малої та середньої продуктивності доцільно прийняти горизонтальне розташування матриць, а подачу матеріалу здійснювати зверху під впливом сил тяжіння.

З пристроїв видавлюючого типу для малих господарств доцільно застосувати гранулятори з матрицями, що поєднують функцію гранулювання матеріалу та передачі обертового моменту. Вони являють собою дві рівновеликі зубчаті матриці, одна з яких є привідною, а інша – веденою. Матриці за своєю сутністю є зубчатими колесами з каналами пресування у западинах.

1.4 Висновки

Найкращим варіантом з точки зору матеріало- та енергомісткості для грануляторів малої та середньої продуктивності прийнято схему з горизонтальним розташуванням двох рівновеликих зубчатих коліс-матриць.

Теоретичних досліджень конструкції та робочого процесу грануляторів з горизонтальними матрицями на сучасному етапі не виявлено, однак дана схема пристрою передбачає можливість зниження енерговитрат і практичної реалізації застосування грануляторів кормів для ферм малих господарств – сімейних, фермерських та приватних підсобних, що забезпечують виробництво значної частини тваринницької продукції в Україні.

Тому теоретичне обґрунтування конструкційно-режимних параметрів гранулятора буде виконано у наступному розділі дипломної роботи.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЯТОРА СИПКИХ КОРМІВ

Виробництво комбікормів у гранульованому вигляді є важливим засобом економії та раціонального використання компонентів кормів і сировинних ресурсів, що дозволяє забезпечити механізацію технологічного процесу годівлі сільськогосподарських тварин, птахів та риби, покращує умови праці у тваринництві та птахівництві, умови навантаження, зберігання та транспортування комбікормів, забезпечує повну збереженість поживних речовин.

Процес гранулювання істотно впливає на зміну структурно-механічних властивостей розсипного комбікорму. Внаслідок цього він перетворюється з

сипкого стану на продукцію певної форми. Крім того, отриманий комбікорм набуває нових властивостей і кращих показників поживності.

Процес гранулювання позитивно впливає на зміну фізико-хімічних властивостей кормів: підвищення температури сприяє вивільненню жиру з жирових клітин компонентів комбікормів (шроту, макухи тощо), знижує в'язкість жиру, що рівномірно обволікає теплу та вологу поверхню частинок комбікорму.

Питаннями підготовки преміксів та кормових сумішей, а також кондиціонування їх перед пресуванням займалися багато дослідників та наукових колективів [17, 18, 19, 20]. За результатами їх досліджень розроблене серійне обладнання, що забезпечує якісну підготовку кормових сумішей до операції їх гранулювання.

На рисунку 2.1 наведено структурну схему технологічного процесу виробництва кормових гранул. Вона включає основні операції, що забезпечують підготовку і гранулювання багатокомпонентної кормової суміші [21].



Рисунок 2.1 – Структурна схема технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму

Процес приготування гранульованих кормів з рослинних матеріалів складається з ряду операцій, таких як: підготовка кормосуміші до гранулювання (очищення, дозування мінеральних домішок, приготування преміксу, подрібнення компонентів і мінеральних домішок до необхідних розмірів і змішування), дозування преміксу, кондиціонування кормосуміші, нагрівання та додавання зв'язуючих речовин, подальше дозування отриманої суміші з наповнювачем (приготування вихідної кормосуміші) та безпосередньо гранулювання суміші: подача, гранулювання, витримка у каналах пресування, видавлювання гранул. Після пресування гранули охолоджують та відокремлюють крихту. Потім відбувається повернення крихти на повторне пресування (зворотні втрати), а гранульований комбікорм пакують та відправляють на зберігання.

Лінія гранулювання містить наступне технологічне обладнання: бункер

для домішок, дозатор кормів, живильник наповнювача, пристрій для подрібнення мінеральних домішок, змішувачі для приготування преміксу та кормової суміші, форсунки для зволоження суміші водою, шестеренний прес-гранулятор, конвеєри для гранул і крихти [22].

Основною операцією технології виробництва гранул є процес пресування розсипних кормових сумішей у гранули. За енергоспоживанням процес пресування розсипних кормових сумішей знаходиться на першому місці серед усіх технологічних операцій, що використовуються при приготуванні кормових гранул [23].

Процес гранулювання у досліджуваному прес-грануляторі з горизонтально розташованими рівновеликими колесами-матрицями включає наступні технологічні операції: з бункера-живильника кормова суміш подається у приймальну камеру перед робочими органами, зтягується зубчатими колесами-матрицями, що обертаються назустріч одне одному в міжзубовий простір і вдавлюється поверхнею зубів у канали пресування. Сили тертя між ними та внутрішньою поверхнею каналів пресування забезпечують ущільнення стиснутого корму. У гранулі за період знаходження у каналі пресування напруження поступово знижується і вона зміцнюється. Отримані гранули видавлюються новими порціями корму з каналів пресування та відламуються.

Зниженню споживання енергії, підвищенню продуктивності сприяють раціональна форма та розташування каналів у матриці, а також їх стан. Шорстка поверхня фільтри збільшує коефіцієнт тертя маси об стінки, збільшує тиск пресування, знижує продуктивність прес-гранулятора.

2.1 Шляхи підвищення продуктивності прес-гранулятора з горизонтальними матрицями

Можливості підвищення продуктивності досліджуваного прес-гранулятора пов'язані в основному з конструктивними особливостями та параметрами

зубчатих робочих органів. Пропускна здатність прес-гранулятора з горизонтально розташованими рівновеликими зубчатими колесами-матрицями у функції геометричних та конструктивних параметрів у загальному випадку має вигляд [24, 25]:

$$Q_c = 2 \cdot z \cdot V_{od} \cdot \rho_0 \cdot n, \text{ кг/с}; \quad (2.1)$$

де z – кількість міжзубових западин на кожному колесі;

V_{od} – об'єм одиничної порції корму, виділеної при утворенні замкненого простору вхідним зубом спряженого колеса, м³;

ρ_0 – щільність корму в момент утворення замкненого простору, кг/м³;

n – частота обертання коліс, с⁻¹.

За дослідженнями В.І. Щербини [22] можливості підвищення продуктивності гранулятора пов'язані зі збільшенням об'єму міжзубових западин та збільшенням щільності корму у западині до моменту утворення замкненого об'єму.

Об'єм міжзубової западини залежить від параметрів зубчатого профілю колеса. Щільність корму в міжзубовій западині залежить від співвідношення об'ємів корму, що подається до коліс і обсягів западин у момент утворення замкненого простору.

Зубчате зачеплення коліс шестеренних пресів, як правило, у дослідженнях приймають з незмінним евольвентним профілем зубів, оскільки у цих дослідженнях шестерні розглядають як рівновеликі з функцією передачі обертового моменту. Також при дослідженнях процесу гранулювання серед параметрів зубчатих коліс використано в основному лише модуль зуба евольвентного профілю.

Але окрім цього на форму евольвентного зуба впливають інші фактори, наприклад, такі як коефіцієнти зміщення вихідного профілю рейки, висоти

голівки зуба та відхилення міжцентрової відстані, а також ступінь загострення голівки зуба, кут зачеплення тощо [23].

У конструкції шестеренних пресів відомі випадки застосування додаткової зубчатої передачі, що забезпечує функцію передачі обертового моменту, знімаючи її з робочих органів. Відповідно для них є необов'язковим коефіцієнт перекриття зачеплення та евольвентний профіль зуба [23, 26].

З метою визначення можливостей підвищення продуктивності прес-гранулятора, за умови збереження евольвентного зачеплення, розглянемо можливі відхилення геометрії зуба його коліс-матриць.

Пропускна здатність шестеренного робочого органу пресів визначається подачею матеріалу до зони стиснення. При рівномірному розподілі її насипної маси за об'ємом, подача в зону стиснення дорівнює сумі подач матеріалу за рахунок сил тертя і за рахунок міжзубових проміжків матриць [22]:

$$q = q_1 + q_2, \text{ кг/с}; \quad (2.2)$$

де q_1 – подача маси за рахунок сил тертя корму по поверхні виступів зубчатих коліс, кг/с;

q_2 – подача маси міжзубовими проміжками двох пресуючих коліс, кг/с.

Подача за рахунок сил тертя [23, 26] дорівнює

$$q_1 = (A - 2r_a \cdot \cos \varphi) B \cdot v_y \cdot \rho_0, \text{ кг/с}; \quad (2.3)$$

де A – міжцентрова відстань, м;

r_a – радіус голівки зубів коліс, м;

B – ширина коліс, м;

v_y – вертикальна складова лінійної швидкості точки по поверхні голівки зуба, м/с;

ρ_0 – щільність кормосуміші, кг/м³;

φ – кут тертя кормосуміші по циліндричній поверхні голівки зуба коліс.

Розглядаючи залежність (2.3) можна зробити висновок, що подачу матеріалу за рахунок сил тертя можливо збільшити за рахунок підвищення кутової швидкості обертання коліс, їх ширини та міжцентрової відстані [23].

Для зубчатих рівновеликих коліс, що стискають корм з постійною початковою щільністю, міжцентрову відстань, ширину зубчатих коліс і насипну масу корму можна прийняти постійними, тоді змінними параметрами у рівнянні залишаються кут тертя кормової суміші, радіус голівки зуба, лінійна швидкість на поверхні голівки зуба колеса.

Якщо виразити лінійну швидкість через кутову (ω), вираз (2.3) набуває вигляду

$$q_1 = (A - 2r_a \cdot \cos \varphi) B \cdot \rho_0 \cdot r_a \cdot \omega \cos \varphi, \text{ кг/с.} \quad (2.4)$$

Радіус голівок неоднозначно впливає на подачу матеріалу: при його зменшенні підвищується чисельне значення товщини захопленого корму, але знижується лінійна швидкість руху матеріалу. Таким же чином впливає і кут тертя: його збільшення призводить до більш швидкого захоплення корму, що дуже важливо, але в той же час зменшується значення косинуса кута і вертикальної складової швидкості. Це своєрідний фактор ступеня форсування режиму роботи прес-гранулятора.

За результатами проведеного аналізу підвищенню подачі матеріалу за рахунок сил тертя сприяє збільшення кута тертя.

Матеріал на поверхні матриць взаємодіє з металевою поверхнею площин на голівках зубів та з поверхнею корму, що заповнює міжзубовий простір (рис. 2.2). При цьому безумовно, що кут тертя по сталі корму менший, ніж по тому ж самому корму.

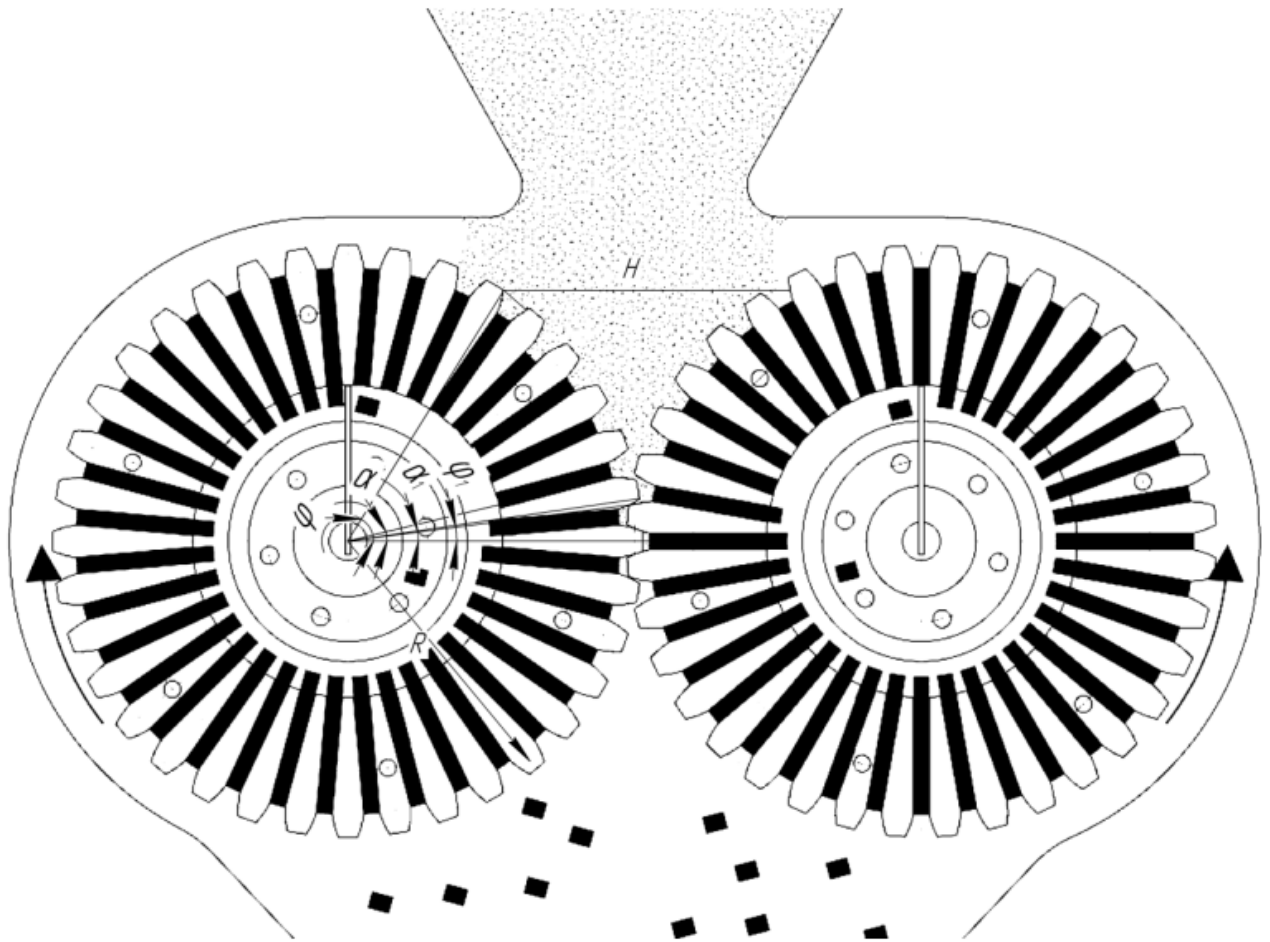


Рисунок 2.2 – Схема подачі та стискання кормової суміші у грануляторі з горизонтальними матрицями

За результатами досліджень В.І. Щербини [23] встановлено, що у загальному випадку кут тертя є приведеним до деякого проміжного значення, що враховує частку контактів по поверхням сталевого колеса і корму

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \cdot f_1 + \varphi_2 \cdot f_2}{f_1 + f_2}, \quad (2.5)$$

де f_1 – площа контакту кормової суміші по сталі (площин на діаметрі голівки зуба), м²;

f_2 – площа контакту кормової суміші по кормовій суміші у западинах між зубами, м².

При збільшенні радіусу голівок зуба ця голівка загострюється, що дозволяє збільшити площу контакту кормової суміші по корму і зменшити площу контакту по сталі. Загострення зуба максимально можливе при такому стані, коли площина на його голівці перетворюється у лінію. Відповідно збільшуючи радіус голівки зуба, можна забезпечити максимальну подачу кормової суміші за рахунок сил, що розвиваються при терті:

$$q_1^{\max} = (A - 2r_a^{\max} \cdot \cos \varphi_2) B \cdot \rho_0 \cdot r_a^{\max} \cdot \omega \cdot \cos \varphi_2, \text{ кг/с.} \quad (2.6)$$

За даною залежністю подача кормової суміші просторами між зубами шестерень залежить від обсягів западин і зуба, діаметрів голівок і западин зуба.

Якщо припустити, що об'єм зубів коліс дорівнює об'єму міжзубового простору між ними, то кількість матеріалу, яку зубчаті матриці подають за 1 оберт, можна вважати рівною подвійному об'єму западин між зубами за виключенням об'єму зазорів між радіусами голівки одного зуба і ніжки іншого. Об'єм матеріалу, що знаходиться у цих зазорах, буде постійним у процесі роботи преса, що дає підставу виключити його із загальної подачі.

Тоді середня теоретична подача міжзубовими просторами преса з горизонтально розміщеними рівновеликими колесами-матрицями складає

$$q_2 = r(2r_a - A) B \cdot \rho_0 \cdot \omega \cdot \frac{S_6}{S_6 + S_3}, \text{ кг/с;} \quad (2.7)$$

де r – радіус дільного кола зубчатого колеса, м;

ω – кутова швидкість обертання коліс, с⁻¹;

S_6 – площа торцевої поверхні западини, м²;

S_3 – площа торцевої поверхні зуба, м².

Радіуси кіл зубчатого зачеплення визначаються відомими з теорії машин і механізмів залежностями [2]:

- для кіл голівок зуба

$$r_a = r - m(h_a^* + c^* - \chi) + h, \quad (2.8)$$

де c^* – коефіцієнт радіального зазору;

χ – коефіцієнт зміщення, який може мати додатне або від'ємне значення;

- для ділильного кола

$$r = 0,5 \cdot m \cdot z. \quad (2.9)$$

Висота зуба визначається за формулою

$$h = (2h_a^* - \Delta y) \cdot m + c^* \cdot m, \quad (2.10)$$

де Δy – коефіцієнт вирівнюючого зміщення, при $\chi_\Sigma \neq 0$.

При сталій міжцентровій відстані коефіцієнт зворотнього зміщення є сумою коефіцієнтів зміщення матриць. Тоді радіус голівки зуба з урахуванням (2.8) та (2.9) залежить від наведених нижче факторів:

$$r_a = m(0,5 \cdot z + h_a^* + \chi). \quad (2.11)$$

Відповідно максимальна подача міжзубовими западинами прес-гранулятора становить

$$q_2^{\max} = r [2m(0,5z + h_a^* + \chi) - A] \cdot B \cdot \rho_0 \cdot \omega \cdot \frac{S_6}{S_6 + S_3}. \quad (2.12)$$

За (2.12) збільшити подачу кормової суміші міжзубовими просторами зубчатих кіл у досліджуваному прес-грануляторі можливо при застосуванні найбільших значень модуля при максимально можливому додатньому

зміщенні вихідного профілю зуба, не обмежуючи його висоту.

У сукупності максимальні значення подачі матеріалу за рахунок обсягу міжзубових западин і за рахунок сил тертя можуть забезпечити найбільшу продуктивність шестеренного прес-гранулятора з горизонтально розміщеними рівновеликими колесами-матрицями зовнішнього зачеплення.

2.2 Аналіз об'ємних елементів робочих коліс прес-гранулятора

Визначаючи об'єм зуба пресуючих матриць, Ю.А. Сімакін [9], Е.А. Ладигін [19] та інші дослідники [23, 26, 27, 28] пропускну здатність шестеренних пресів розглядають в залежності від об'єму міжзубової западини при входженні в неї голівки зуба. Ймовірність збільшення продуктивності пресу за даними науковців пов'язана з найбільш розвиненим замкнутим простором під зубом: зі збільшенням кількості кормової суміші у западині між зубами підвищується разова порція входження матеріалу, що забезпечує вищу пропускну здатність гранулятора.

При цьому визначальним є не загальний об'єм западин, а кількість кормової суміші, що витісняється у фільтеру з цієї западини, яка залежить від форми голівки зуба, що входить у западину [23]. До того ж при сталому режимі роботи пресу, як зазначалося раніше, частина об'єму западин завжди заповнена матеріалом і у подальшому не впливає на продуктивність пресу.

Розрахунок продуктивності шестеренного прес-гранулятора з урахуванням об'єму замкненої міжзубової западини призводить до завищення теоретичної подачі зубчатих грануляторів у порівнянні з дійсною.

Вважаємо, що продуктивність пресу вища у тому випадку, коли зуб спряженого колеса виштовхує у фільтеру більшу порцію (тобто об'єм зуба максимально можливий).

Відповідно можемо визначити площу повздовжнього перерізу закритої западини матриці згідно [23]:

$$S_{зк} = r_b^2 \cdot \left\{ \frac{\pi}{z} \varphi_1^2 - \frac{2\pi}{z} \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\pi}{z} \right) \varphi_1 + \frac{\pi}{z} \left[1 + 2\operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{2\pi}{z} \operatorname{tg} \alpha + \frac{4\pi}{3z^2} \right] - \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \alpha_a \right\} -$$

$$- r_a^2 \cdot \left(\frac{\pi}{2z} \cdot \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right) - r^2 \cdot \left(\frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha \right), \quad (2.13)$$

де φ_1 – кут повороту колеса від моменту утворення закритої камери до моменту проходження міжцентрової лінії, рад;

r_b – радіус основного кола, м.

Об'єм замкненого простору між зубами шестерні товщиною B :

$$V_{з.к.} = S_{з.к.} \cdot B. \quad (2.14)$$

При обертанні матриць об'єм корму в міжзубовому просторі зменшується за рахунок його стиснення у відповідності до зміни кута повороту зубчатих матриць.

Визначимо аналітично об'єм зуба та фактори, що дозволяють його збільшити.

Зуб евольвентного профілю і параметри його зачеплення наведено на рис. 2.3.

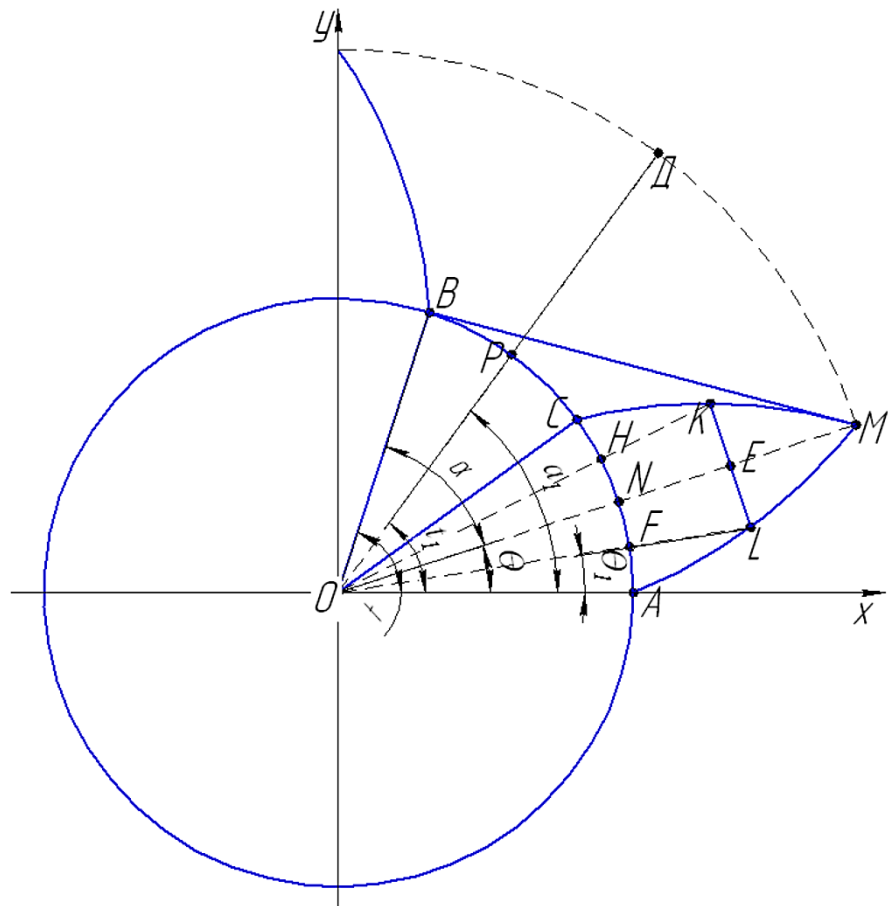


Рисунок 2.3 – Схема утворення евольвенти кола

Виникає необхідність отримання залежності для визначення площі торцевої поверхні зуба.

Профіль зуба – евольвентний, відповідно евольвента кола – спіраль чи лінія, утворена кінцем М (рис. 2.3) нитки ВМ, що змотується з котушки або намотується на неї, з-за чого можливі права (АЛМ на рис. 2.3) або ліва (СКМ) евольвенти кола.

Евольвента кола має такі властивості:

- перетинає всі дотичні кола під прямим кутом;
- нормаль до евольвенти є дотичною до кола;
- радіус кривизни евольвенти зростає при віддаленні точки М від початкової точки;
- при побудові вона не потрапляє всередину кола, а проходження точки М через початкову А змінює напрямок руху.

Якщо D – діаметр основного кола, z – кількість зубів, m – модуль зуба,

тоді довжина дуги або ширина зуба AC становить

$$AC = \frac{\pi D}{2z} = \pi m \cos \alpha / 2. \quad (2.15)$$

Діаметр D основного кола залежить від кількості зубів z

$$D_D = m \cdot z = D / \cos \alpha, \quad (2.16)$$

а кут, на який спирається зуб:

$$\angle COA = 2\Theta = \frac{AC}{D/2} = \pi / z. \quad (2.17)$$

Тоді площа сектора OMA

$$S = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \frac{t^3}{6}, \quad (2.18)$$

а сектора COA

$$S = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \Theta. \quad (2.19)$$

Тому площа зуба CMA з загостренням

$$S_1 = 2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \frac{t^3}{6} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot 2\Theta = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{t^3}{3} - \Theta\right) = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{t^3}{3} - \frac{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha}{2D}\right). \quad (2.20)$$

У якості додаткових факторів необхідно врахувати коефіцієнт зміщення профілю рейки, який змінює співвідношення діаметра основного кола та діаметра ділильного кола. Цей параметр монтажний, так як використовується

при встановленні зубонарізного інструменту у верстаті. Застосовується він для корекції міжосьової відстані зубчатих коліс.

Аналіз отриманих залежностей вказує на наступні тенденції зміни міжзубового простору при інших фіксованих параметрах:

1. Площа зуба збільшується зі збільшенням радіусу загострення r_a і кута α_b , але знижується зі збільшенням радіусів основного кола r_b і западин r_f .

2. При нульовій товщині зуба радіус загострення відповідає радіусу заготовки для колеса, тоді:

$$r_a = r \cdot \frac{\cos \alpha_a}{\cos \alpha_3}, \quad (2.21)$$

де α_3 – монтажний кут зачеплення, який може бути визначений за виразом:

$$\operatorname{inv} \alpha_3 = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{m}{r} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot \chi \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) + 2 \cdot \operatorname{inv} \alpha_b \right]. \quad (2.22)$$

Таким чином, прийнявши при проектуванні модуль m , радіус ділильного кола r і кут зачеплення $\alpha = 20^\circ$, необхідно досягти

$$\chi \rightarrow \max \text{ і } \operatorname{tg} \alpha \rightarrow \max. \quad (2.23)$$

Монтажний кут зачеплення знаходимо за довідковими таблицями [22, 29]

$$\operatorname{inv} \alpha_3 = \frac{2 \cdot (\chi_1 + \chi_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_b}{z_1 + z_2} + \operatorname{inv} \alpha_b. \quad (2.24)$$

За (2.24) зубчатий вінець шестеренних матриць повинен мати найбільше додатне зміщення.

На сучасному етапі найбільш поширені наступні зубчаті передачі [22]:

1) додатня, в якій можуть бути:

- а) колеса нульові у поєднанні з додатнім;
 б) колесо додатнє у поєднанні з від'ємним, що мають різні значення коефіцієнтів зміщення та додатню суму коефіцієнтів зміщення;
 2) нульова, коли обидва колеса нульові (без зміщення) або коли одне колесо додатнє, а інше від'ємне при рівних коефіцієнтах зміщення.

Радіус основного кола в досліджуваному прес-грануляторі знаходиться у наступній залежності з радіусом ділильного кола:

$$r_b = r \cdot \cos \alpha. \quad (2.25)$$

З кінематики зубчатого зачеплення випливає, що збільшення радіусу основного кола пов'язане зі зменшенням початкового кута зачеплення, так як основне коло є геометричним місцем центрів кривизни евольвенти. При зменшенні радіусу основного кола збільшується радіус кривизни евольвенти і, відповідно, площа охоплення контуру.

Площа зуба залежить від радіуса основного кола. Однак це спостерігається тільки до рівності його радіуса радіусу западин $r_b = r_f$, після чого зменшення його недоречне.

Об'єм міжзубових западин матриці визначається різницею площі кільця і зубів з урахуванням ширини шестерні. Схема для визначення площі западини наведена на рис. 2.4.

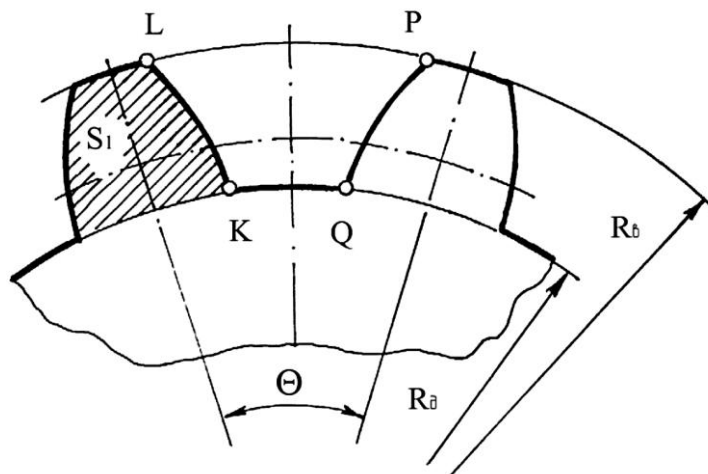


Рисунок 2.4 – Схема для визначення площі міжзубової западини при стандартному виконанні зуба

За наведеною схемою площа KLPQ складає

$$S_{KLPQ} = \frac{1}{2}(r_a^2 - r^2)\theta - S_3. \quad (2.26)$$

Голівка зуба спряженої шестерні долає додатковий простір міжзубових западин, що входять до загальної площі (див. рис. 2.5).

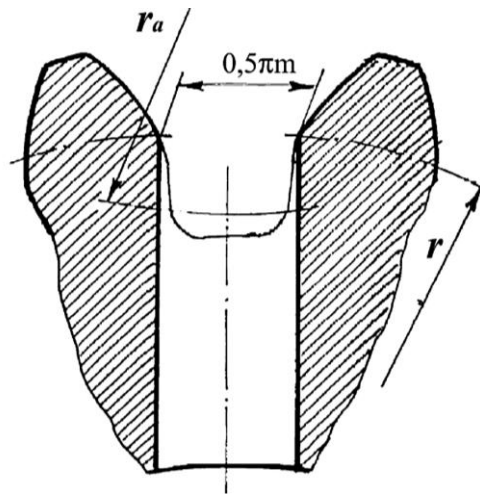


Рисунок 2.5 – Схема для визначення додаткового простору міжзубових западин

Враховуючи крок зачеплення, цей простір дорівнює $0,5 \cdot \pi m h_a$, тоді для площі міжзубової западини отримаємо аналітичну залежність:

$$S_6 = \frac{\pi m}{2} \left(\frac{r_a^2}{r} - r + h_a \right) - S_3. \quad (2.27)$$

Відповідно питома пропускна здатність шестеренного прес-гранулятора в залежності від об'ємних елементів зубів і западин шестеренних матриць

$$Q = 60 \cdot K_{em} \cdot q_{num} \cdot n \cdot \rho_0 \cdot \frac{(q_{1num} + zS_6)}{zS_6}, \quad (2.28)$$

де K_{em} – коефіцієнт втрат;

q_{num} – питома об'ємна подача, м³/см ширини зуба;

q_{1num} – питома об'ємна подача силами тертя, м³/см ширини зуба.

Аналізуючи залежність (2.28), приходимо до висновку, що модуль, кут зачеплення, висота голівки зуба матриць та зміщення вихідного профілю зубів являються основними факторами, що впливають на продуктивність досліджуваного шестеренного прес-гранулятора.

2.3 Деформація кормів у робочому просторі прес-гранулятора

Провідними науковцями [6, 7, 9, 15, 19, 22, 30, 31] для існуючих конструкцій шестеренних грануляторів кормів з робочими органами зовнішнього зачеплення були встановлені залежності між основними параметрами зубчатого вінця шестеренних матриць та процесом ущільнення матеріалу.

Враховуючи це, нами буде визначено тиск у зоні ущільнення, сили стиснення матеріалу та процес зміни його деформації у просторі між привідною та веденою матрицями, початковий момент вдавлювання корму в матричний канал і кут орієнтації цього каналу, робота на ущільнення, необхідна потужність приводу досліджуваного прес-гранулятора та інші показники його роботи.

Деформація матеріалу в грануляторі характеризується зміною обсягу міжзубового простору привідної та веденої шестерень.

Для визначення найкращого співвідношення діаметрів матриць розглянемо зміну деформації кормосуміші від моменту входження її в зону стискання до перетину міжцентрової лінії згідно рис. 2.6.

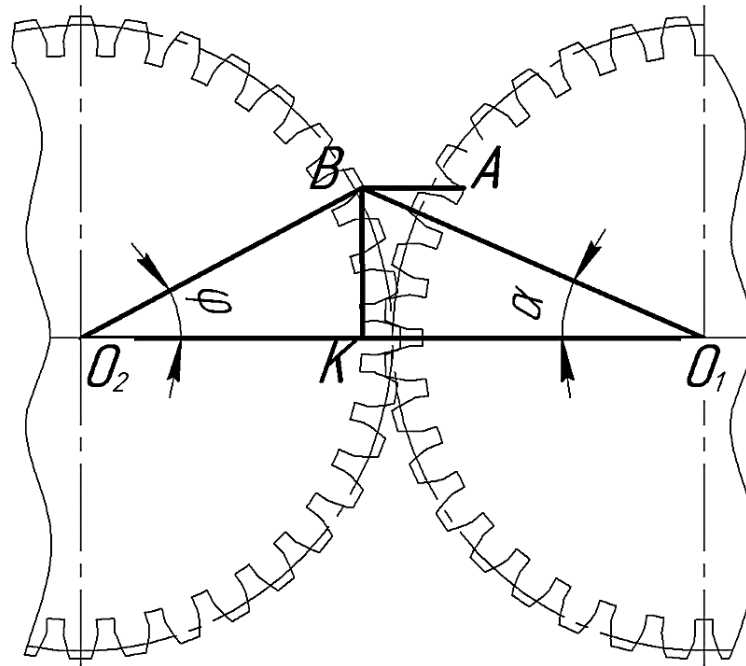


Рисунок 2.6 – Схема для визначення кута початку стискання корму у прес-грануляторі

Згідно рис. 2.6 для трикутника BO_1O_2 : $AB = H_{\text{макс}}$, тоді

$$H_{\text{макс}} = R - [r^2 + (R - r)^2 - 2r(R - r)\cos(\pi - \varphi)]^{0,5}. \quad (2.29)$$

Товщина шару корму, що надходить у проміжок між привідною та веденою матрицями, не зовсім відповідає реальній подачі матеріалу. Для її визначення необхідно врахувати також додаткову подачу матеріалу криво-лінійними поверхнями зубів. Для цього у залежність (2.29) введемо коригуючий коефіцієнт, значення якого необхідно визначити експериментальним шляхом.

У розглянутому трикутнику проєкції двох сторін на третю становлять:

$$(R - H)\cos\alpha = R - r + r\cos\varphi. \quad (2.30)$$

Тоді кут початку стискання корму у грануляторі

$$\alpha = \arccos[(R - r + r \cos \varphi) / (R - H)]. \quad (2.31)$$

Необхідно у подальшому встановити взаємозв'язок кута обертання веденої матриці φ від кута повороту привідної α , що дозволить визначити поточні значення товщини шару матеріалу, що пресується.

Згідно

$$R \sin \alpha = H \sin \varphi + r \sin \varphi \quad (2.32)$$

поточне значення матеріалу, що стискається

$$H = (R \sin \alpha - r \sin \varphi) / \sin \varphi \quad (2.33)$$

або

$$H = R \sin \omega t / \sin \varphi - r / \sin \varphi, \quad (2.34)$$

де t – поточний час процесу стискання матеріалу, с.

Тривалість стискання матеріалу встановимо за формулою

$$t = \alpha / \omega. \quad (2.35)$$

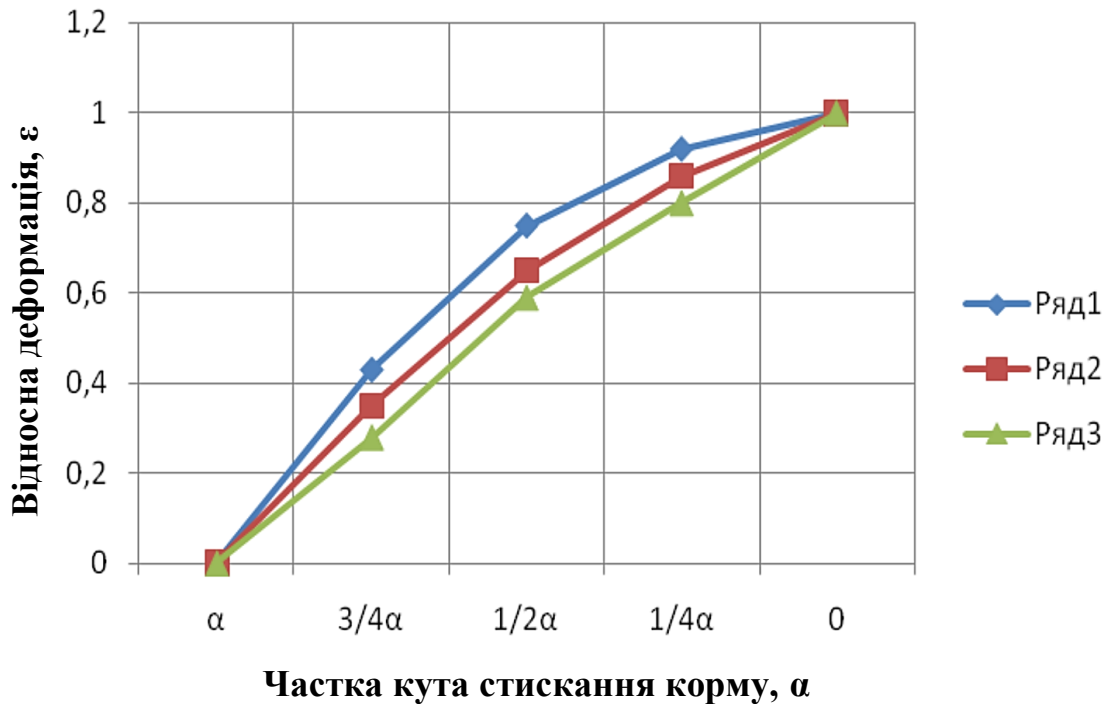
Деформація корму відповідатиме значенню зміни товщини шару від початкового до поточного. Вона визначається за формулою

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\text{пот}}, \quad (2.36)$$

Тоді відносна деформація у цьому випадку дорівнюватиме відношенню отриманої різниці до початкової товщини шару

$$\varepsilon = \frac{\{R - [r^2 + (R - r)^2 - 2r(R - r)\cos(\pi - \varphi)]^{0,5} + r - R \sin \omega t / \sin \varphi\}}{\{R - [r^2 + (R - r)^2 - 2r(R - r)\cos(\pi - \varphi)]^{0,5}\}} = 1 - [R \sin \omega t / \sin \varphi + r] / \{R - [r^2 + (R - r)^2 - 2r(R - r)\cos(\pi - \varphi)]^{0,5}\}. \quad (2.37)$$

Графічне вираження залежності (2.37) наведене на рис. 2.7.



1 ряд – для співвідношення радіусів 0,6;
 2 ряд – для співвідношення радіусів 0,75;
 3 ряд – для співвідношення радіусів 0,9;

Рисунок 2.7 – Графічна залежність відносної деформації корму від кута стискування у прес-грануляторі з зубчатими колесами зовнішнього зачеплення

Відповідно до рис. 2.7, зменшення співвідношення радіусів матриць сприяє більш швидкому зростанню деформації матеріалу. Це означає, що на момент досягнення кінцевої щільності пресування впливає не тільки початкова насипна маса суміші, що гранулюється, але і параметри матриць. Тому орієнтацію матричних каналів потрібно виконувати з урахуванням параметрів матриць, що передбачено провести у процесі лабораторного експерименту.

2.4 Тиск і робота стискування кормів у шестеренному прес-грануляторі

Ущільнення кормових сумішей визначається зміною об'єму під дією

прикладеного тиску, внаслідок чого збільшується їх щільність. Оскільки стінки каналу пресування обмежують бічне розширення матеріалу, це дає підставу припустити, що кормова суміш та напруження в ній розподілені рівномірно по всьому об'єму матричного каналу, так як порції матеріалу, що впресовується у матричний канал за один оберт матриць досить малі та відносно постійні [23, 25, 27].

Дослідженням щодо визначення залежності між тиском гранулювання і щільністю отриманих гранул присвячені роботи багатьох науковців [23, 24, 27].

Цю залежність найчастіше наводять у вигляді експоненти:

$$P = P_0(e^{a\psi} - 1), \quad (2.38)$$

де P – діючий тиск, МПа;

P_0 – характеристика опору корму стисканню, МПа;

ψ – відносна зміна щільності матеріалу при стисканні.

У цій залежності відносна зміна щільності матеріалу, що стискається, дорівнює:

$$\psi = (\rho - \rho_0) / \rho_0, \quad (2.39)$$

а величини P_0 і a залежать від виду сировини, що гранулюється, і характеризують опір її стисканню [23].

Роботу стискання визначаємо інтегруючи від початкової до кінцевої щільності наступний вираз:

$$W = (k_1 \text{HBr}\varphi/2) \int P_0 (e^{a\psi} - 1) d\psi = k_1 \text{HBr}\varphi P_0 [e^{a\psi} - a ((\rho - \rho_0) / \rho_0) - 1]/2a. \quad (2.40)$$

Тоді питома робота стискання матеріалу на одиницю його маси складає:

$$W_{\text{пит}} = k_1 \text{HBr}\varphi P_0 [e^{a\psi} - a ((\rho - \rho_0) / \rho_0) - 1] / 2am; \quad (2.41)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності, що враховує частку поверхні зубів і ступінь навантаження западин;

m – маса матеріалу, що стискається, кг.

За залежністю (2.41) робота утворення кормових гранул зумовлюється їх пружно-в'язкими властивостями та динамікою стискання у шестеренному прес-грануляторі.

2.5 Аналіз діючих сил у робочому органі та потужність приводу шестеренного прес-гранулятора

Як розглянуто раніше, згідно залежності (2.38), тиск стискання матеріалу у пресі характеризується його пружно-в'язкими властивостями і необхідною щільністю після стискання.

Показники деформації матеріалу взаємопов'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$\lambda = \rho / \rho_0; \quad \varepsilon = (\rho - \rho_0) / \rho; \quad \psi = (\rho - \rho_0) / \rho_0; \quad (2.42)$$

де λ – ступінь стискання матеріалу.

Виконаємо аналіз сил, що діють на поверхні матриць (рис. 2.8).

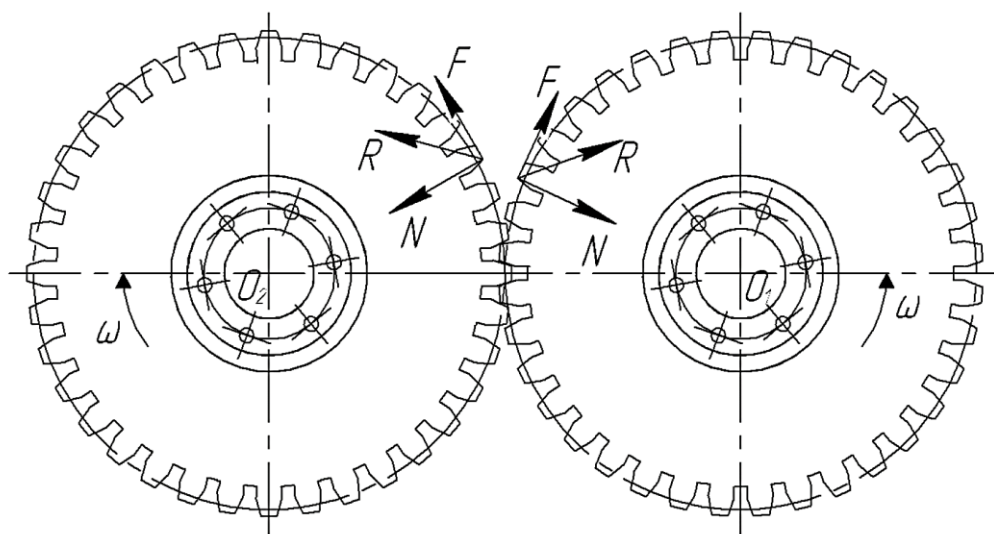


Рисунок 2.8 – Схема сил у робочому органі гранулятора
Момент опору обертанню матриць визначаємо за формулою:

$$M_c = F_{тр} \cdot r, \quad (2.43)$$

де M_c – момент опору обертання пресуючої матриці, Нм;

$F_{тр}$ – сила тертя, Н;

r – радіус поверхні голівки зуба, м.

Тоді необхідна потужність на привід матриць складає:

$$N_{пр} = M_c \cdot \omega. \quad (2.44)$$

Сила тертя матеріалу по сталевій поверхні матриці

$$F = N \cdot f, \quad (2.45)$$

де f – коефіцієнт тертя корму по сталі

Площа поверхні зубчатої матриці, що знаходиться під тиском кормо-суміші, дорівнює

$$A = k_1 Br\varphi, \quad (2.46)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності, що враховує частку поверхні зубів у ній та ступінь навантаження западин.

Нормальна сила стискання знаходиться інтегруванням величин тисків у межах дуги захоплення корму обертовими поверхнями

$$N = k_1 Br\varphi P_0 \int (e^{a\psi} - 1) d\psi = k_1 Br\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1)/(a - \psi)]. \quad (2.47)$$

Тоді сила тертя по поверхні матриці

$$F = f k_1 Br\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)]. \quad (2.48)$$

Множення сил тертя на радіус зовнішньої поверхні матриці дозволяє визначити момент сил на ній

$$M = f k_1 B r^2 \varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)]. \quad (2.49)$$

Обертвий момент повинен враховувати кількість матриць у зачепленні та передатне відношення їх кінематичного зв'язку:

$$M_m = K f k_1 B r^2 \varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)] \cdot (R/r); \quad (2.50)$$

де K – кількість матриць.

Тоді необхідна потужність на привід зубчатих коліс гранулятора без урахування втрат на холостий хід та ККД трансмісії

$$N_{пр} = \omega K f k_1 B r^2 \varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)] \cdot (R/r). \quad (2.51)$$

За результатами досліджень А.В. Щербини [23] встановлено, що у просторі між поверхнями обертювх матриць окрім визначених сил тертя і стискання корму діють також інші нерозглянуті незначні за величиною сили, що підвищують загальну енергоємність процесу стискання. Напевне це характерно і для досліджуваного нами прес-гранулятора. Для зниження їх впливу А.В. Щербиною рекомендовано зміщення вихідного профілю зубчатого вінця шестеренних коліс до загострення зубів, що виключає зайве стиснення матеріалу на торцевих площинах голівок зубів коліс.

2.6 Висновки

У даному розділі дипломної роботи нами отримано залежності продуктивності гранулятора, що пов'язують об'ємну подачу корму з геометричними параметрами зуба і западини на колесі.

Спільний вплив параметрів зачеплення (модуля зуба, коефіцієнту зміщення, коефіцієнту висоти голівки зуба та кута зачеплення) на об'ємну подачу корму буде визначено експериментальним шляхом.

Силіві показники прес-гранулятора залежать від фізико-механічних

властивостей конкретної кормової суміші, які можна визначити тільки експериментально, а відповідно і витрати енергії на гранулювання кормів.

Визначені залежності об'єму повнопрофільного зуба та з деякою обмеженою висотою, а також об'єму западини є науковою новизною. Процес деформації корму в робочому просторі та питома робота стискання корму також описані новими залежностями.

Наведені рівняння ущільнення кормосуміші враховують взаємозв'язок тиску гранулювання і щільності суміші при її стисканні (2.38), роботу що витрачається при цьому (2.41) та можуть бути використані для розрахунку шестеренних пресів даного типу.

3 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА З ГОРИ-ЗОНТАЛЬНИМИ МАТРИЦЯМИ

3.1 Програма та методи лабораторних досліджень

Програмою лабораторних досліджень передбачено:

- уточнення основних фізико-механічних властивостей вихідної сировини для гранулювання, що впливають на процес її стискання та подальшу інтенсивність утворення кормових гранул;
- обґрунтування параметрів і раціонального режиму роботи гранулятора з метою визначення оптимальної продуктивності пристрою.

Методика оцінки кришимості гранул

Перевірку гранул на кришимість визначали відповідно до вимог ГОСТ 28497-2014 [32]. Зважування гранул проводили на технічних вагах за ГОСТ 29329-92 [33], при цьому маса наважки гранул, відокремлених від пилоподібних частинок та крихти, становила 0,5 кг.

Наважку гранул завантажували в ємність приладу ППГ (рис. 3.1). Обертання ємності проводили зі швидкістю 50 об/хв. протягом 10 хв., після чого гранули відокремлювалися від крихти і зважувалися. Похибка зважування становила $\pm 1 \cdot 10^{-2}$ г.



Рисунок 3.1 – Пристрій ППГ для дослідження гранул на кришимість



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд отриманих гранул

За відомим виразом у відсотках визначали кришимість отриманих гранул

$$K = \frac{m - m_2}{m} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де m – маса гранул до випробування, г;

m_2 – маса гранул після випробування, г.

Досліди з визначення кришимості гранул проводили у триразовій повторності.

Методика вимірювання пропускної здатності дослідного зразку прес-гранулятора

Пропускную здатність прес-гранулятора W (т/год) розраховували за виразом:

$$W = \frac{I}{n} \sum_{i=1}^n W_i, \quad (3.2)$$

де n – кількість повторних вимірів при випробуванні.

Пропускна здатність для i -ї повторності:

$$W_i = \frac{P_i}{t_i}, \quad (3.3)$$

де P_i – маса гранул, відібрана за i -ту повторність, кг;

t_i – тривалість i -ї повторності, хв.

Дослідження продуктивності гранулятора проводили у триразовій повторності протягом 5 хв. роботи гранулятора. Після кожної повторності проводили відбір проб: вихідної сировини, гранул одразу після виходу з гранулятора та після охолодження. При цьому також контролювали параметри мікроклімату виробничого приміщення.

Відбір проб здійснювали через задані рівні проміжки часу.

Методика обробки експериментальних даних

Оцінка якості гранулювання матеріалу є процесом багаторазових спостережень випадкових фізичних величин. У зв'язку з цим отримані дані щодо продуктивності гранулятора та кришимості отриманих гранул під час процесу гранулювання є результатом спостережень випадкових величин у кількох повторностях. При розрахунках визначали їх усереднені значення. Оцінку похибки вимірювань визначали з використанням відомих методик планування факторних експериментів [26, 34, 35].

Середньоквадратичне відхилення визначали за формулою:

$$\sigma(\bar{x}_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (3.4)$$

де x_i – значення i -го виміру;

\bar{x}_i – середнє арифметичне значення результатів вимірювань;

n – кількість вимірювань.

Середнє арифметичне значення вимірюваної величини

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3.5)$$

Визначали коефіцієнт варіації за формулою

$$v = \frac{\sigma(\bar{x}_i)}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

а довірчі межі випадкових значень за виразом

$$\Delta = t \cdot \sigma(\bar{x}_i), \quad (3.7)$$

де t – критерій Стюдента для рівня довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Адекватність розрахункових даних за критеріями оптимізації та експериментальними значеннями перевіряли за критерієм Фішера.

Отримані рівняння регресії у сукупності утворюють математичну модель процесу гранулювання сипких кормів для кількісної та якісної його оцінки.

Результатом вирішення компромісної задачі (системи рівнянь) є забезпечення максимальної пропускної здатності робочих органів гранулятора при допустимій за ГОСТ кришимості гранул, що являється раціональним режимом його роботи.

Обробку отриманих даних проводили за допомогою програм Microsoft Office Excel та MathCAD.

3.2 Результати лабораторних досліджень

Розглянемо отримані результати експериментальних досліджень раціонального режиму роботи гранулятора з рівновеликими зубчатими матрицями, що виконані в умовах навчально-наукової лабораторії кафедри МВІТ ДДАЕУ.

Для визначення режиму роботи гранулятора використовувалася методика повнофакторного планування. Нами прийнятий ортогональний план для двох факторів, що змінювалися у межах: частота обертання зубчатих коліс – 140...180 хв.⁻¹ (X_1 у закодованому вигляді) та подача комбікорму – 35...55 г/с (X_2). Критеріями оптимізації прийняті: кількісний – продуктивність гранулятора Q , кг/год (Y в закодованому вигляді) та якісний – кришимість гранул K , % (Z).

Діапазон зміни та рівні варіювання факторів вибрано на основі аналізу літературних джерел та попередніх досліджень науковців [21, 22] і наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Досліджувані фактори та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення	Одиниця вимірювання	Рівні варіювання			
			-1	0	+1	Інтервал
Частота обертання зубчатих коліс	X_1	хв. ⁻¹	140	160	180	20
Подача комбікорму	X_2	г/с	35	45	55	10

Матрицю плану досліджень та отримані результати наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця плану та середні значення продуктивності гранулятора і кришимості гранул

№ з/п	Рівні варіювання факторів		Середнє значення продуктивності, кг/год	Середнє значення кришимості, %
	X_1 , хв. ⁻¹	X_2 , г/с		
1	-1	-1	105,8	5,2
2	-1	+1	128,8	6,6
3	+1	-1	161,8	12,0
4	+1	+1	201,6	18,4
5	+1	0	182,7	14,6
6	-1	0	118,4	6,0

7	0	+1	161,4	12,5
8	0	-1	135,7	8,2
9	0	0	149,4	11,2

Для забезпечення рівня значимості результату 0,05 прийнята триразова кількість повторності дослідів.

Оцінку відтворюваності результатів експериментів здійснювали за критерієм Кохрена [34]. Оцінка дисперсії за результатами експериментів наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Оцінка дисперсії у дослідях з визначення продуктивності гранулятора

№ з/п	$(y_1 - \bar{y})^2$	$(y_2 - \bar{y})^2$	$(y_3 - \bar{y})^2$	$\sum (y_{ij} - \bar{y})^2$	S_u^2
1	6,26	6,77	0,01	13,03	6,50
2	3,25	0,37	1,43	5,05	2,53
3	3,25	0,65	1,0	4,89	2,45
4	0,26	0,01	0,37	0,61	0,32
5	7,82	0,80	3,62	12,27	6,14
6	0,03	9,62	10,88	20,56	10,28
7	6,78	1,20	2,26	10,23	5,12
8	6,78	0,48	3,62	10,87	5,44
9	4,83	7,83	0,37	13,05	6,53
					$\sum_I^N S_{ui}^2 = 45,24$

Критерій Кохрена являє собою відношення найбільшої оцінки дисперсії до сумарної за загальним планом експерименту. Він є показником розподілу дисперсії у полі експерименту. Критерій Кохрена для прийнятого рівня значимості результатів 0,05 повинен бути не більшим за табличне значення.

Значення критерію Кохрена для дослідів № 6 дорівнює:

$$G_{розр} = \frac{S_{\max}^2}{\sum S_n^2} = 0,23. \quad (3.8)$$

Для рівня значимості 0,05 та кількості ступенів вільності

$$f = N \cdot (n-1) = 9 \cdot (3-1) = 18, \quad (3.9)$$

а його табличне значення $G_{табл} = 0,373$ [34], що більше розрахункового.

З отриманих даних видно, що умова відтворюваності результатів дослідів виконується. Це означає, що результати дослідів можна використовувати для складання рівняння регресії.

Для визначення коефіцієнтів рівняння отримані результати дослідів у експерименті вносимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів членів рівняння регресії продуктивності гранулятора

№ з/п	$X_1\bar{Y}$	$X_2\bar{Y}$	$X_1X_2\bar{Y}$	$X_1^2\bar{Y}$	$X_2^2\bar{Y}$
1	-105,8	-105,8	-105,8	-105,8	-105,8
2	-128,6	128,6	-128,6	128,6	128,6
3	161,8	-161,8	-161,8	161,8	161,8
4	201,4	201,4	201,4	201,4	201,4
5	182,7	0	0	182,7	0
6	-118,3	0	0	118,3	0
7	0	161,4	0	0	161,4
8	0	-135,9	0	0	135,9
9	0	0	0	0	0
Σ	193,5	87,8	-195	687,3	683,4

Отримані наступні коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 149,41; b_1 = 32,23; b_2 = 14,66; b_{12} = 4,21; b_{11} = 1,034; b_{22} = -0,92.$$

Їх значимість перевірялася за допомогою програми MathCAD:

$\Delta b_0 = 5,317$; $\Delta b_1 = 2,912$; $\Delta b_2 = 2,912$; $\Delta b_{12} = 3,567$; $\Delta b_{11} = 5,045$; $\Delta b_{22} = 5,045$.

У рівнянні регресії для продуктивності гранулятора значимість коефіцієнтів b_{12} , b_{11} і b_{22} не підтверджується. У літературних джерелах [26, 34, 35] рекомендується зберігати всі члени рівняння, якщо при їх відсутності порушується адекватність рівняння.

У результаті продуктивність гранулятора описується рівнянням:

$$Y = 149,41 + 32,23X_1 + 14,66X_2 + 4,21X_1X_2 + 1,034X_1^2 + (-0,92)X_2^2. \quad (3.10)$$

Перевірку адекватності рівняння на відповідність розрахункових і дослідних даних подачі гранулятора здійснювали за критерієм Фішера. Для рівняння продуктивності гранулятора отримано результат F-тесту = 0,998.

Поверхня відгуку функції продуктивності гранулятора наведена на рис. 3.3.

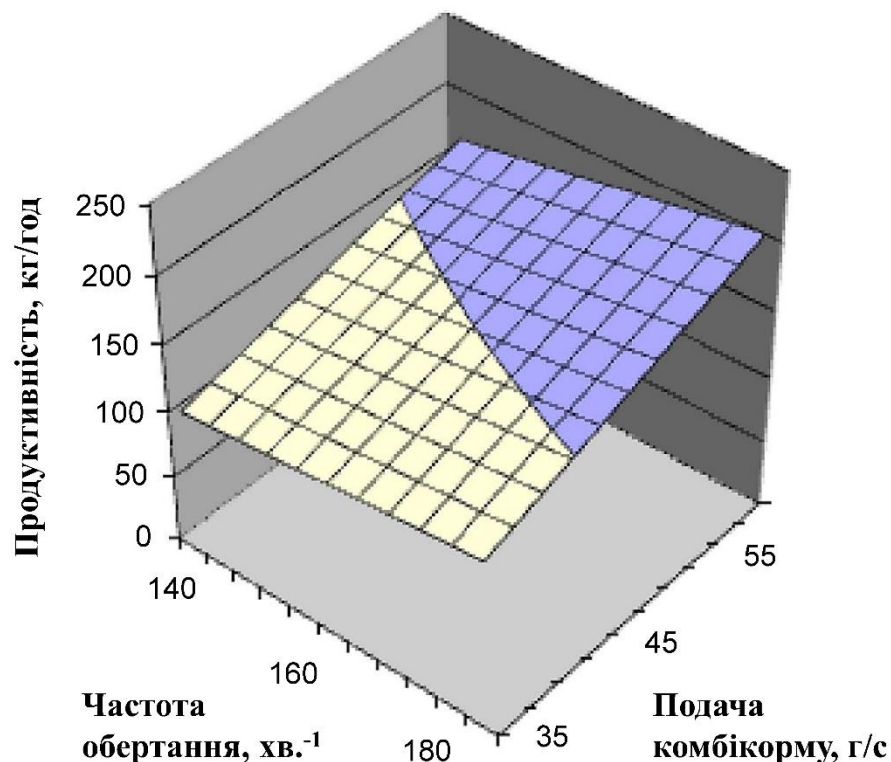


Рисунок 3.3 – Поверхня відгуку продуктивності гранулятора у функції частоти обертання коліс

Аналізуючи рис. 3.3, приходимо до висновку, що на продуктивність гранулятора головним чином впливає подача комбікорму.

За результатами експериментальних досліджень змінною величиною у рівнянні (2.28) можна залишити лише подачу комбікорму, що спрямовується до зони стискання. Отриману теоретичну залежність порівнюємо з рівнянням (3.10), приймаючи постійною частоту обертання матриць на рівні 160 хв.^{-1} .

Результати порівняння розрахованих за теоретичною залежністю (2.1) та отриманих за результатами експерименту значень продуктивності гранулятора наведено у таблиці 3.5 і на рисунку 3.4. Вони показують, що фактична продуктивність гранулятора вища за теоретичну на 11...25 %, що вимагає внесення у теоретичні залежності поправочних коефіцієнтів, що нівелюють цю різницю.

Таблиця 3.5 – Результати порівняння продуктивності гранулятора за теоретичною залежністю та експериментальними даними

№ з/п	Назва	Подача корму, г/с				
		35	40	45	50	55
1	Теоретична продуктивність, кг/год	101,5	110,4	120,3	131,1	143,6
2	Експериментальна продуктивність, кг/год	136,0	142,7	149,5	155,5	161,5
3	Похибка теоретичної залежності, % $\frac{Q_T - Q_E}{Q_E} \cdot 100\%$	-25,5	-22,71	-19,58	-15,69	-11,2

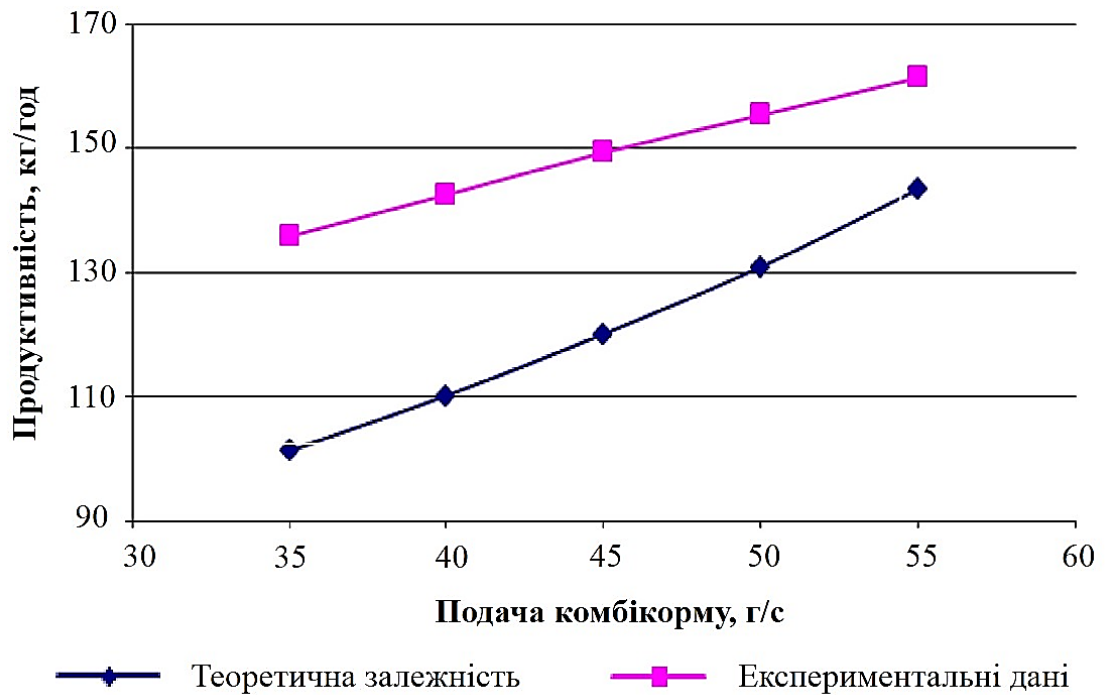


Рисунок 3.4 – Графік порівняння продуктивності гранулятора за теоретичними та експериментальними даними

Для другого критерію оптимізації – кришимості гранул відтворюваність дослідів також уточнена з визначенням критерію Кохрена (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Оцінка дисперсії відтворюваності дослідів за кришимістю гранул

№ з/п	$(y_1 - \bar{y})^2$	$(y_2 - \bar{y})^2$	$(y_3 - \bar{y})^2$	$\sum (y_{ij} - \bar{y})^2$	S_u^2
1	1,23	1,67	0,05	2,96	1,48
2	1,23	1,67	0,05	2,96	1,48
3	1,42	0,83	0,07	2,36	1,18
4	1,1	0,07	1,67	2,76	1,38
5	0,07	1,1	0,51	1,59	0,77
6	1,1	0,66	0,05	1,67	0,86
7	0,83	1,1	0,02	1,84	0,93
8	0,51	0,27	0,05	0,77	0,38
9	0,02	1,67	1,98	3,64	1,85
					$\sum_I^N S_{ui}^2 = 10,26$

Значення критерію Кохрена розраховане для дослідів № 9 за формулою:

$$G_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum S_n^2} = 0,178; \quad (3.11)$$

а його табличне значення $G_{\text{табл}} = 0,373$, що більше розрахункового.

Для визначення коефіцієнтів членів рівняння отримані дані зведено до таблиці 3.7.

Коефіцієнти рівняння регресії кришимості гранул:

$$b_0 = 10,78; b_1 = 4,57; b_2 = 2,07; b_{12} = 1,28; b_{11} = - 0,07; b_{22} = - 0,17.$$

Їх значимість за довірчими інтервалами:

$$\Delta b_0 = 2,532; \Delta b_1 = 1,387; \Delta b_2 = 1,387; \Delta b_{12} = 1,699; \Delta b_{11} = 2,402; \Delta b_{22} = 2,402.$$

Таблиця 3.7 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів членів рівняння регресії кришимості гранул

№ з/п	$X_1\bar{Y}$	$X_2\bar{Y}$	$X_1X_2\bar{Y}$	$X_1^2\bar{Y}$	$X_2^2\bar{Y}$
1	-5,4	-5,4	5,4	5,4	5,4
2	-6,8	6,8	-6,8	6,8	6,8
3	12,2	-12,2	-12,2	12,2	12,2
4	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
5	14,9	0	0	14,9	0
6	-6,2	0	0	6,2	0
7	0	12,7	0	0	12,7
8	0	-8,2	0	0	8,2
9	0	0	0	0	0
Σ	27,5	12,5	5,2	63,7	63,5

У рівнянні регресії для кришимості гранул значимість коефіцієнтів b_{12} , b_{11} і b_{22} не підтверджується. Для умови збереження рівня значимості рівняння кришимості гранул всі коефіцієнти залишаємо незмінними.

Тоді рівняння регресії у закодованому вигляді для кришимості гранул має наступний вигляд:

$$Z = 10,78 + 4,57X_1 + 2,07X_2 + 1,28X_1X_2 + (-0,07)X_1^2 + (-0,17)X_2^2. \quad (3.12)$$

Перевірку адекватності рівняння на відповідність розрахункових і дослідних даних кришимості гранул здійснювали за критерієм Фішера. Для рівняння кришимості гранул отримано результат F-тесту = 0,994.

Поверхня відгуку функції кришимості гранул наведена на рисунку 3.5.

Обидва рівняння, що отримані за результатами експериментальних досліджень складають математичну модель процесу гранулювання кормів дослідного зразка гранулятора:

$$\begin{cases} Y = 149,41 + 32,23X_1 + 14,66X_2 + 4,21X_1X_2 + 1,034X_1^2 + (-0,92)X_2^2, \\ Z = 10,78 + 4,57X_1 + 2,07X_2 + 1,28X_1X_2 + (-0,07)X_1^2 + (-0,17)X_2^2. \end{cases} \quad (3.13)$$

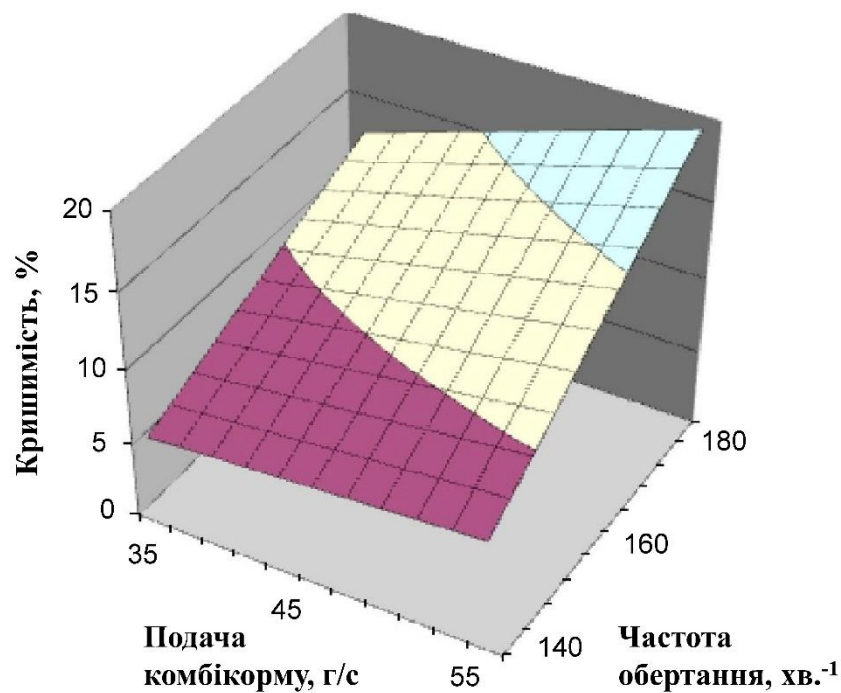


Рисунок 3.5 – Поверхня відгуку функції кришимості гранул

У розкодованому виді рівняння (3.13) приймають наступний вигляд:

$$\begin{cases} Q = -0,0093q^2 + 0,0027n^2 + 0,022qn - 1,07q - 0,16n + 24,37; \\ K = -0,0018q^2 - 0,0003n^2 + 0,007qn - 0,799q - 0,005n + 3,171. \end{cases} \quad (3.14)$$

Їх вирішення являє собою компромісну задачу. Для знаходження області оптимальних значень параметрів режиму роботи гранулятора, використано графічний метод двовимірних перетинів.

На графіку (рис. 3.6) зображено ізолінії продуктивності гранулятора та ізолінії кришимості отриманих гранул.

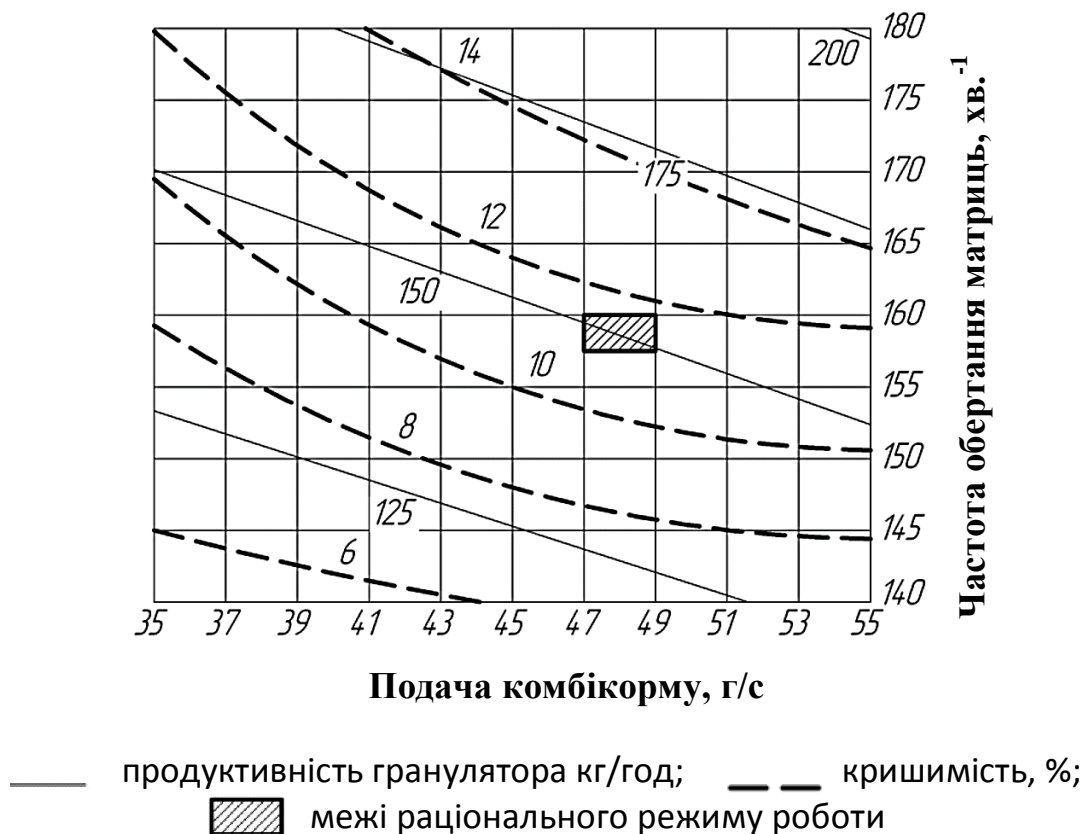


Рисунок 3.6 – Графічний розв'язок компромісної задачі

Розглядаючи графічне зображення двовимірних перетинів поверхонь продуктивності гранулятора та кришимості отриманих гранул за рис. 3.6,

приймаємо раціональною зоною роботи пристрою область з межами подачі корму 47...49 г/с та частоти обертання матриць 157...160 хв.⁻¹ до ізоляції кришимості 12 % згідно ГОСТ 23513.

3.3 Висновки

Для оцінки режиму роботи гранулятора з рівновеликими зубчатими матрицями нами отримано математичну модель у складі функцій продуктивності гранулятора та кришимості отриманих гранул залежно від частоти обертання зубчастих коліс та подачі корму в зону пресування (3.13). Адекватність математичної моделі рівняння подачі гранулятора F-тест = 0,998, а рівняння кришимості гранул F-тест = 0,994.

За результатами досліджень для визначення раціонального режиму роботи гранулятора оптимальне співвідношення його продуктивності та якості гранул отримано при частоті обертання матриць 157...160 хв.⁻¹ і подачі корму 47...49 г/с.

За розрахунками шестеренний гранулятор з частотою обертання матриць 160 хв.⁻¹ і діаметром матриці 288 мм забезпечує продуктивність 131 кг/год при енергоємності 16,9 кВт·год/т.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Дослідження стану охорони праці у лабораторії

Дослідження конструктивно-технологічних параметрів дослідного зразку гранулятора кормів проводилось у навчально-науковій лабораторії кафедри МВПТ ДДАЕУ.

Перед початком робіт керівником роботи проведено відповідні інструктажі з техніки безпеки. Також було виконано аналіз лабораторії з точки зору забезпечення достатнього рівня охорони праці і безпеки проведення досліджень.

Відповідно до СНіП 11-90-81: «Наукові та навчальні лабораторії відносять до категорії В – пожежонебезпечне виробництво. Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення даних лабораторій відносять до класу В-16 [36]».

Наукова лабораторія знаходиться в окремій будівлі, що ізольована від інших споруд. Ступінь вогнестійкості будівлі - не нижче третьої. Стіни і стеля наукової лабораторії пофарбовані, що запобігає адсорбції шкідливих речовин і

дозволяє проводити їх очищення, миття або дегазацію. Підлога і поверхні робочих столів виконано з негорючих або важкозаймистих антикорозійних матеріалів.

Для наукової лабораторії забезпечується можливість відключення подачі води і електроенергії. Крани та рубильники відкритого типу встановлені у легкодоступних місцях. Наукова лабораторія обладнана примусовою вентиляцією.

Лабораторний зразок гранулятора кормів включає наступне електрообладнання: асинхронний електродвигун і блок живлення. Відповідно до Правил розміщення електроустановок: «Наявне приміщення відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки». Схема електричної мережі лабораторії відповідає вимогам і стандартам безпечної роботи. «Електричні розетки не розміщено поблизу водопровідних або опалювальних систем, радіаторів та мийки. Стан захисного заземлення та ізоляції електричних мереж, електро-приладів і електрообладнання відповідає вимогам електробезпеки».

Електрична шафа керування має кнопку аварійного відключення. Обладнання вмикається послідовно від загального вимикача до вимикачів окремих розгалужень. Вимикається обладнання у зворотньому порядку.

Під лабораторним стендом підлога має ізоляційну поверхню. Окрім цього все електрообладнання заземлюється.

Також у лабораторії розміщене комп'ютерне обладнання. У приміщенні дотримані відповідні заходи безпеки при його експлуатації. Виходячи з санітарних норм роботи приміщень з обчислювальною технікою: «Площа повинна бути визначена з умови $4,5...5 \text{ м}^2$ на одного здобувача вищої освіти. У приміщенні повинна підтримуватись оптимальна температура $17...21^{\circ} \text{ C}$ і вологість $40...60 \%$. При роботі з обчислювальною технікою важливо враховувати оптимальні умови освітленості».

Наукова лабораторія оснащена освітленням згідно ДБН В.3.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [37].

4.2 Розробка проєкту інструкції з охорони праці для оператора лінії гранулювання кормів

4.2.1 Загальні положення

«До самостійного обслуговування обладнання лінії гранулювання комбікормів допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання професії на виробництві за розробленою програмою, які пройшли стажування не менше 12...15 змін, перевірку знань (допуск) кваліфікованою комісією організації».

«Працюючий повинен дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку підприємства, виключити вживання алкогольних, наркотичних і токсичних засобів. Куріння допускається тільки у встановлених місцях. Працівник повинен знати і виконувати вимоги безпеки при користуванні ліфтом. При ходьбі по сходах необхідно триматися за поручні. Дотримуватися заходів безпеки при знаходженні на території підприємства».

При обслуговуванні лінії гранулювання на оператора можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- обертові деталі приводів преса, охолоджувача, подрібнювача і просіювача;
- статична електрика;
- паропровід;
- шум.

Згідно з типовими галузевими нормами: «Операторам лінії гранулювання видається спецодяг: костюм бавовняний, шолом бавовняний, рукавиці комбі-новані, куртка ватяна (чергова) та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) – навушники».

«Для забезпечення пожежо- і вибухобезпеки оператор лінії гранулювання здійснює контроль за режимами роботи обладнання

(температурою, тиском), здійснює своєчасне мащення підшипників, очищення магнітної колонки, контроль за натягом привідних деталей, за роботою пристроїв захисту та блокування».

«При виявленні несправностей обладнання, порушень технологічного процесу працівник повідомляє про це начальника зміни, начальника цеху».

«При виникненні нещасного випадку необхідно негайно надати першу долікарську допомогу потерпілому, а при необхідності викликати швидку медичну допомогу за телефоном «103». Повідомити про це начальника зміни або начальника цеху і зберегти, по можливості, ситуацію на робочому місці і стан обладнання такими, якими вони були у момент події, якщо це не загрожує здоров'ю та життю оточуючих і не призведе до аварії».

«Працівник повинен вміти надати першу долікарську допомогу при нещасних випадках: накладати фіксуєчу пов'язку при кровотечах, зробити штучне дихання або непрямий масаж серця».

«При виконанні робіт з обслуговування лінії гранулювання працівник повинен знати і дотримуватися правил особистої гігієни».

«Працівник несе відповідальність за порушення вимог цієї інструкції у порядку, встановленому Правилами внутрішнього трудового розпорядку організації та чинним законодавством».

4.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Приступаючи до роботи, працівник зобов'язаний надіти спецодяг та ретельно заправити його, не допускаючи звисаючих кінців. Волосся необхідно прибрати під головний убір.

Уважно оглянути робоче місце і перевірити:

- відсутність на робочому місці сторонніх предметів;
- наявність вільних проходів;
- комплектність необхідного інвентарю, інструментів, пристосувань.

Працівник зобов'язаний перевірити:

- «справність обладнання, температуру підшипників та електродвигунів, навантаження;

- наявність і справність захисних елементів приводів;
- справність електроапаратури та приводів, засобів сигналізації;
- справність електричного освітлення, заземлюючих пристроїв;
- роботу аспіраційних мереж».

«При змінній роботі необхідно ознайомитися з результатами роботи попередньої зміни, з'ясувати усі наявні технічні недоліки в роботі обладнання, їх причини та заходи, що прийнято для їх усунення».

«Перед пуском обладнання лінії гранулювання слід переконатися, що в машинах немає сторонніх предметів, а також у справності всіх механізмів і приладів. Максимальне навантаження на електродвигуни технологічної лінії за шкалою амперметрів повинне бути не вище 50А».

4.2.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

«Маховик пресу, шків електродвигуна, привідний пас і приводи живильників бункерів повинні бути огорожені з усіх боків. Виступаючі кінці валів повинні бути закриті кожухами».

При необхідності регулювання зазору між пресуючими роликками і колесом-матрицею можна виконувати тільки після повної зупинки гранулятора.

При роботі гранулятора заборонено проводити роботи у зоні вузлів ріжучих штифтів з-за можливості одержання травм.

Підвідний паропровід необхідно перевірити на надійність ізоляції за всією довжиною.

Для запобігання випадків захоплення пальців обертовими вальцями подрібнювача повинні бути встановлені захисні решітки. Вилучення випадково потрапленого стороннього предмету на вальці або ліквідацію

завалу подрібнювача виконувати тільки після зупинки обладнання і відключення його від мережі.

При обслуговуванні сепаратора:

- «очищення сит проводити за допомогою щітки, при цьому не ставати на огородження або станину;
- прибирання під сепаратором виконувати щіткою з довгою ручкою;
- при виникненні дисбалансу ексцентрикового приводу валу і появи значної вібрації машину слід зупинити і відбалансувати;
- не можна під час роботи сепаратора ставати на просіювальний бункер, очищувати руками осаджувальні камери.

Привідні вали-редуктори та муфти, що приводять у рух шлюзові затвори, повинні бути надійно огорожені».

«Перевірка обертання крильчатки шлюзового затвору повинна проводитися від руки за кінець валу, обертання крильчатки вручну за лопаті забороняється».

При потраплянні в шлюзовий затвор стороннього предмета або його завалу матеріалом, необхідно: «Відключити електродвигун від електричної мережі і провести вилучення стороннього предмета або ліквідацію завалу тільки після повної зупинки обертання крильчатки».

«Стационарні ланцюгові транспортери і шнеки повинні бути укладені в міцні коробки зі знімними кришками. Кришки повинні бути закриті. Під знімними кришками повинні бути встановлені запобіжні ґрати». Працівник повинен пам'ятати: «Відкриті люки не тільки сприяють запиленню приміщення, але і створюють небезпеку випадкового потрапляння рукою або ногою в робочу зону ланцюгового транспортера або шнека, що може бути причиною травми».

«При завалі матеріалом ланцюгового транспортера, шнека або потраплянні в них стороннього предмета, його вилучення або ліквідацію завалу машини можна проводити тільки після повної зупинки машини. Завал норії можна ліквідувати тільки після повної її зупинки спеціальним скребком.

Скребок повинен знаходитися в руці вільно, закріплювати його на кисті руки забороняється».

4.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Згідно типових вимог: «Після закінчення зміни провести видалення пилу, бруду, мастила з зовнішньої поверхні обладнання, використовуючи при цьому щітку. Для прибирання підлоги використовувати щітку з довгою ручкою.

Повідомте про несправності, помічені під час роботи начальника зміни або начальника цеху; при передачі зміни – змінного працівника».

Після закінчення зміни оператор повинен зняти спецодяг та засоби індивідуального захисту і прибрати у шафу, прийняти душ.

«Залишатися в цеху, на території підприємства після закінчення зміни без відома змінного майстра або начальника цеху заборонено».

4.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

«До аварійних або нещасних випадків можуть привести:

- потрапляння у гранулятор, подрібнювач або охолоджувальну колонку стороннього предмета;
- наявність напруги та струму на корпусах обладнання;
- проковзування привідних пасів;
- поява сторонніх шумів при роботі обладнання;
- пошкодження, іскріння або загоряння електропроводки або електрообладнання;
- завал бункерів обладнання лінії гранулювання матеріалом».

«При виникненні аварійних ситуацій лінію гранулювання необхідно негайно зупинити, повідомити змінного майстра або начальника цеху».

У випадках травмування постраждалому необхідно надати першу долікарську допомогу. При необхідності викликати швидку медичну допомогу за телефоном «103».

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Згідно Закону «Про цивільну оборону України»: «Надзвичайна ситуація (НС) визначається як порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, що викликана аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, пожежею, використанням засобів масового ураження, яке призвело або може призвести до людських чи матеріальних втрат» [38].

«До ознак надзвичайної ситуації відносять: небезпеку для життя і здоров'я значної кількості людей, суттєве порушення екологічної рівноваги, повне або часткове припинення господарської діяльності, значні матеріальні збитки».

«Надзвичайні ситуації за своєю сутністю та причинами виникнення поділяють на природні, техногенні та соціальні». У нашому регіоні найбільш ймовірною є надзвичайна ситуація техногенного характеру. У випадку виникнення НС необхідно провести евакуацію здобувачів вищої освіти та співробітників у відповідності до схем евакуації. У планах евакуації встановлені правила поведінки осіб, а також порядок і послідовність дій персоналу, що обслуговує об'єкт на випадок надзвичайної ситуації. При розробці схем та планів евакуації працівників особливу увагу приділяють шляхам евакуації.

У ДДАЕУ встановлений відповідний «Порядок оповіщення людей про НС», з яким ознайомлено працівників та здобувачів вищої освіти. Територія університету щоденно прибирається. Дороги, проїзди та під'їзди до будівель і споруд вільні. Розміщення меблів і обладнання в аудиторіях, лабораторіях, кабінетах та інших приміщеннях не перешкоджає евакуації людей. У

коридорах, вестибюлях, на сходових клітках і евакуаційних виходах встановлено наказові та вказівні знаки безпеки.

У випадку аварії евакуаційні шляхи дозволяють провести безпечну евакуацію осіб, які знаходяться у приміщенні, через евакуаційні виходи.

4.4 Висновки

В даному розділі, базуючись на нормативній документації, виконано аналіз стану охорони праці у лабораторії при проведенні досліджень експериментального зразку гранулятора кормів. Розроблено проєкт інструкції з охорони праці для оператора лінії гранулювання кормів. Приведено порядок дій при виникненні надзвичайних ситуацій у ДДАЕУ.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ГРАНУЛЯТОРА

Розроблений гранулятор кормів є малогабаритним обладнанням, що може використовуватись як окремо, так і у складі лінії гранулювання.

Порівнювати розроблений гранулятор будемо з аналогічним обладнанням за призначенням, а саме серійним гранулятором кормів ГКМ-150, що випускається ТОВ «ТехноМашСтрой» (м. Черкаси, Україна).

Технічна характеристика серійного гранулятора ГКМ-150:

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| – споживана потужність | – 4 кВт; |
| – продуктивність | – 100 кг/год; |
| – балансова вартість обладнання | – 24250 грн; |
| – обслуговуючий персонал | – 1. |

Технічна характеристика розробленого гранулятора:

- | | |
|------------------------|---------------|
| – споживана потужність | – 2,2 кВт; |
| – продуктивність | – 130 кг/год; |

- балансова вартість обладнання – 17000 грн;
- обслуговуючий персонал – 1.

Оскільки переваги розробленого гранулятора кормів мають технічний характер (вища продуктивність, менша споживана потужність), порівняння будемо проводити за експлуатаційними витратами, не враховуючи якісні характеристики отриманого гранульованого корму (вони приблизно однакові).

Експлуатаційні витрати визначимо за наступною методикою.

Витрати на заробітну плату знаходимо за формулою

$$Z = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}; \quad (5.1)$$

де n – кількість обслуговуючого персоналу, люд.;

t – тривалість роботи обладнання за добу, год.;

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн./год.;

δ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

D – кількість робочих днів на рік;

Тривалість роботи обладнання за добу визначимо виходячи з добової потреби у гранульованому кормі (500 кг) при роботі в одну зміну.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{гк}}, \text{ год.}; \quad (5.2)$$

де Q_n – добова потреба у гранульованому кормі, кг;

$Q_{гк}$ – продуктивність гранулятора кормів, кг/год.

Амортизаційні відрахування

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}; \quad (5.3)$$

де B – балансова вартість обладнання, грн.

α – нормований коефіцієнт відрахувань на амортизацію машин та обладнання, %.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування обладнання визначаємо за формулою

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}; \quad (5.4)$$

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт машин та обладнання, %.

Витрати на електроенергію визначаємо за виразом

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де N – споживана потужність обладнання, кВт.;

c_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год. ($c_e = 6$ грн/кВт·год).

Загальні експлуатаційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія експлуатаційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де EB_1, EB_2 – експлуатаційні витрати за базовим та розробленим варіантами відповідно, грн.

Термін окупності розробленого гранулятора кормів

$$T = \frac{B_2}{EEB}, \text{ грн.}; \quad (5.8)$$

де B_2 – балансова вартість розробленого гранулятора кормів, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності гранулятора кормів

№ з/п	Показник	ГКМ - 150	Розроблений гранулятор
1	2	3	4
1.	Кількість обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365
4.	Добова потреба у гранульованому кормі, кг	500	500
5.	Продуктивність гранулятора, кг/год	100	130
6.	Тривалість роботи обладнання за добу, год.	5	3,9
7.	Балансова вартість обладнання, грн.	24250	17000
8.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
9.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
10.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	6	6

продовження табл. 5.1

1	2	3	4
11.	Потужність на привід, кВт	4	2,2
12.	Витрати на заробітну плату, грн.	118698	92584,44
13.	Амортизаційні відрахування, грн.	2425	1700
14.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	1940	1360
15.	Витрати на електроенергію, грн.	43800	18790,2
16.	Експлуатаційні витрати, грн.	166863	114434,64
17.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	52428,36
18.	Термін окупності розробленого гранулятора, років	-	0,32

Висновки

Проведена техніко-економічна оцінка розробленого гранулятора кормів дозволяє зробити висновок, що він має нижчі показники експлуатаційних витрат у порівнянні з серійним гранулятором кормів ГКМ-150 завдяки вищій

продуктивності та меншій споживаній потужності приводу. При цьому річна економія експлуатаційних витрат складає 52428,36 грн. а термін окупності розробленого гранулятора - 0,32 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виробництво комбікормів у розсипному вигляді має ряд недоліків, таких як гігроскопічність корму, мала об'ємна маса, схильність до розшарування при транспортуванні, що негативно впливає на його якість. Найефективніший спосіб усунення цих недоліків – гранулювання.

Існуючі конструкції промислових прес-грануляторів матеріало- та енергомісткі, відповідно мають значні габарити та масу. Малогабаритне обладнання для приготування гранульованих кормів представлено на ринку у дефіциті, в основному закордонного виробництва.

Збільшення виробництва гранульованих кормів вимагає удосконалення існуючих технологій, машин та обладнання у напрямку зменшення енергоємності та підвищення якості кормів і має перспективи розвитку.

При поглибленому аналізі існуючих конструкцій та схем розміщення робочих органів обладнання для гранулювання кормів виявлено, що

найкращим варіантом з точки зору матеріало- та енергомісткості для грануляторів малої та середньої продуктивності є схема з горизонтальним розташуванням двох рівновеликих зубчатих коліс-матриць.

2. За результатами теоретичних досліджень отримано залежності продуктивності гранулятора, що пов'язують об'ємну подачу корму з геометричними параметрами зуба і западини на колесі.

Визначені залежності об'єму повнопрофільного зуба та з деякою обмеженою висотою, а також об'єму западини зубчатої матриці. Процес деформації корму в робочому просторі та питома робота стискання корму також описані новими залежностями.

Отримані рівняння ущільнення корму враховують взаємозв'язок тиску гранулювання і щільності корму при його стисканні, роботу що витрачається при цьому та можуть бути використані для розрахунку грануляторів даного типу.

Силкові показники прес-гранулятора залежать від фізико-механічних властивостей конкретного виду кормів, їх можливо визначити тільки експериментально, а відповідно і витрати енергії на гранулювання кормів.

3. Для оцінки технологічних параметрів гранулятора з рівновеликими зубчатими матрицями проведено лабораторні дослідження запропонованої конструкції, що дозволили отримати математичну модель у складі функцій продуктивності гранулятора та кришимості отриманих гранул залежно від частоти обертання зубчатих коліс та подачі корму в зону пресування.

За результатами досліджень щодо визначення раціонального режиму роботи гранулятора оптимальне співвідношення його продуктивності та якості гранул отримано при частоті обертання матриць $157...160 \text{ хв.}^{-1}$ і подачі корму $47...49 \text{ г/с}$. За розрахунками шестеренний гранулятор з частотою обертання матриць 160 хв.^{-1} і діаметром матриці 288 мм забезпечує продуктивність 131 кг/год при енергоємності $16,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$.

4. Виконано аналіз стану охорони праці у лабораторії при проведенні досліджень експериментального зразку гранулятора кормів. Розроблено

проект інструкції з охорони праці для оператора лінії гранулювання кормів. Приведено порядок дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

5. Проведена техніко-економічна оцінка розробленого гранулятора кормів дозволяє зробити висновок, що він має нижчі показники експлуатаційних витрат у порівнянні з серійним гранулятором кормів ГКМ-150 завдяки вищій продуктивності та меншій споживаній потужності приводу. При цьому річна економія експлуатаційних витрат складає 52428,36 грн. а термін окупності розробленого гранулятора - 0,32 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фарбман Г.Я. Исследование закономерностей процесса прессования травяной муки [Текст] / Г.Я. Фарбман // Зап. Ленингр. с.-х. ин-та. – 1973. – Т. 230. – С. 24-28.
2. Бекин Н.Г. Валковые машины для переработки резиновых смесей. Основы теории работы. [Текст] / Н.Г. Бекин; Яросл. технолог. ин-т. – Ярославль, 1969. – 80 с.
3. Бекин Н.Г. Исследование давления резиновой смеси на валки каландра в зоне деформации при каландровании [Текст] / Н.Г. Бекин, Ю.Н. Кабанов // Каучук и резина. – 1963 – № 12. – С. 31-34.
4. Машины и оборудование для производства комбикормов: [Справочное пособие] / Шаршунов В.А., Червяков А.В., Бортник С.А., Пономаренко Ю.А. – Мн: Екоперспектива, 2005. – 487 с.
5. Лысоконь В.П. Исследование процесса гранулирования витаминной травяной муки плоской матрицей и коническими прессующими вальцами [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1970. – 22 с.
6. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2012. – 720 с.
7. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм [Текст] / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 558 с.
8. Игнатьевский Н.Ф. Анализ энергетики шнекового брикетировщика [Текст] / Н.Ф. Игнатьевский // Механизация производственных процессов в животноводстве и кормопроизводстве. – Л.-Пушкин, 1980. – Т. 391. – С. 56–59.
9. Симакин Ю.А. Исследование процесса брикетирования кормов зубчатым рабочим органом: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1977. – 201 с.
10. Некрашевич В.Ф. Обоснование конструктивной схемы двухвальцевого пресса с роторной матрицей [Текст] / В.Ф. Некрашевич // Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве. – Горький, 1980. – Т. 141. – С. 28–32.

11. Николаев Д.И. Исследование технологического процесса гранулирования травяной муки и оптимизация его основных показателей [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.-Пушкин, 1971. – 19 с.
12. Особов, В.И. Исследование процесса брикетирования сена [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1963. – 141 с.
13. Особов В.И. Машины для брикетирования растительных материалов [Текст] / В.И. Особов. – М.: Машиностроение, 1971. – 112 с.
14. Техника для животноводства ведущих зарубежных фирм [Текст]: Каталог / Под. ред. В.М. Баутина; М-во сельского хозяйства; Деп-т технической политики; Деп-т науки и технического прогресса; ФГНУ «Росинформ-агротех». – М., 2002. – 84 с.
15. Щербина В.И. Шестеренные грануляторы / В.И. Щербина, С.В. Щербина. – Ростов: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2002. – 120 с.
16. Братішко В.В. Узгодження конструкційних параметрів матриць гвинтових грануляторів кормів за тиском та пропускнуою здатністю. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2014. Вип. 27. С. 187–191.
17. Гвоздев О.В., Скляр О.Г., Болтянский О.В. Підвищення ефективності використання технічних засобів комбікормового виробництва методом системного підходу. Праці ТДАТУ. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 92–98.
18. Болтянский О.В. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. 2016. Vol. 18. No. 1. P. 49–54.
19. Ладыгин Е.А. Технология и пресс для гранулирования кормо-лекарственных смесей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – зерноград, 1992. – 159 с.
20. Пат. 30058 U Україна, МПК (2006) B01J2/00. Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора / Штефан Є.В., Риндюк Д.В.; заявник і патентовласник НУХТ. – № u200711256; заявл. 11.10.07; опубл. 11.02.08.

21. Родина Л.Н. Обоснование параметров шестеренного пресса плунжерного действия для гранулирования кормов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – зерноград, 2005. – 133 с.

22. Щербина В.И. Ресурсосберегающие процессы гранулирования и брикетирования кормов шестеренными прессами [Текст]: дис. ... докт. техн. наук. – зерноград, 2004.

23. Щербина, А.В. Обоснование конструктивно-технологической схемы, параметров и режима работы шестеренного гранулятора кормов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – зерноград, 2010. – 144 с.

24. Шишин А.Н. Снижение энергоемкости гранулирования кормов шестеренным прессом с горизонтальной кольцевой матрицей и внутренним прессующим вальцом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – зерноград, 2008. – 159 с.

25. Щербина В.И. Деформация корма в процессе гранулирования [Текст] / В.И. Щербина. – Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2002 – 104 с.

26. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

27. Зорин, А.Ф. Обоснование профиля зубьев колес и рабочего режима шестеренчатого гранулятора [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – зерноград, 2002. – 162 с.

28. Скидело, В.В. Производительность шестеренного гранулятора и факторы, влияющие на подачу корма для прессования [Текст] / В.В. Скидело, И.Н. Краснов // Вестник аграрной науки Дона – зерноград, 2013. – Вып. 2. – С. 100.

29. Кудрявцев В.Н. Зубчатые и червячные передачи / В.Н. Кудрявцев. – М.: Оборонгиз, 1951. – 291 с.

30. Busse W. Untersuchungen auf dem Gebiet des Brikettierens von Halmgut // Grundlagen der Landtechnik. – 1953. – № 18. – S. 7...9.

31. Butler J.L., Mc. Colly H.F. Factors effecting the pelleting of hay // *Agricultural Engineering*. – 1962. – Vol. 40, № 8. – P. 442...446.
32. ГОСТ 28497-2014 Корма, комбикорма. Метод определения кроши-мости гранул. Межгосударственный стандарт. [Текст]: – М.: Стандартиформ, 2020. – 14 с.
33. ГОСТ 29329-92 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования. Межгосударственный стандарт. [Текст]: – М.: Стандартиформ, 2007. – 16 с.
34. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
35. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.Б. Грановский [Текст]. – М: Наука, 1976. – 279 с.
36. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. – Київ: Держстандарт України, 1999. – 22 с.
37. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». – Київ: Мінбуд України, 2006. – 79 с.
38. Закон України «Про цивільну оборону України» від 03.02.1993 року № 2974-ХІІ.
39. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.
40. Економічне обґрунтування дипломних робіт інженерно-технологічного факультету [Текст]: методичні рекомендації / ДДАЕУ – Дніпро, 2017. – 25 с.

ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЯТОРА СИПКИХ КОРМІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМз-1-20
Івлева Вікторія Володимирівна

Керівник: к.т.н., доц. Дудін Володимир Юрійович

Дніпро, 2022

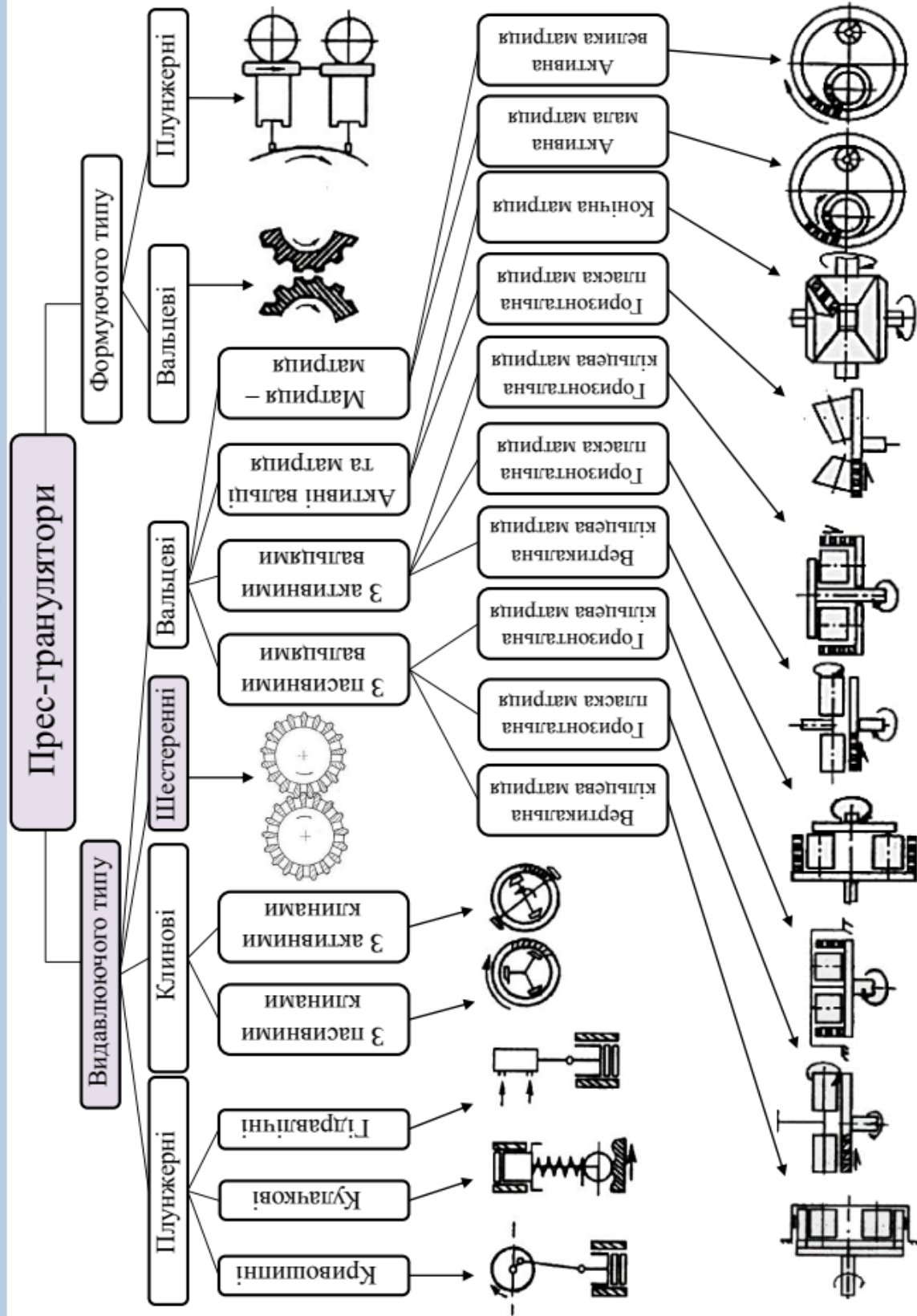
Мета досліджень – підвищення ефективності гранулювання сипких кормів гранулятором з горизонтальними матрицями шляхом обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення мети досліджень сформовано наступні завдання:

- 1) аналіз існуючих конструкцій грануляторів та перспективи їх розвитку;
- 2) теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора;
- 3) проведення лабораторних досліджень гранулятора;
- 4) аналіз удосконаленої конструкції з точки зору охорони праці;
- 5) оцінка економічних показників гранулятора.

Об'єкт дослідження – технологічний процес гранулювання кормів і гранулятор з горизонтальними матрицями для його забезпечення.

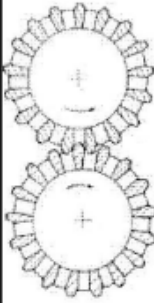

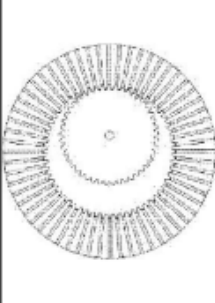
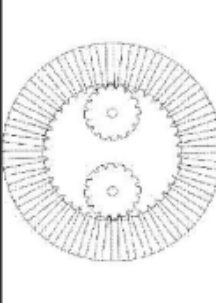
Предмет дослідження – закономірності взаємодії робочих органів гранулятора, оснащеного горизонтальними матрицями, з кормом.



Класифікація прес-грануляторів для отримання кормових гранул

Вибір конструктивної схеми гранулятора 4

Порівняльна оцінка основних конструктивних схем шестеренних прес-грануляторів

Номер варіанту	Схема прес-гранулятора		Місце за продуктивністю	Місце за матеріаломісткістю	Сумарне місце за двома критеріями
	Схема робочих органів				
1			1	1	$1:1 = 1$
2			1,5	$16/12 = 1,32$	$1,5:1,32 = 1,14$
3			2	$16/12 = 1,32$	$2:1,32 = 1,51$
4			2,3	$14/12 = 1,26$	$2,3:1,26 = 1,85$

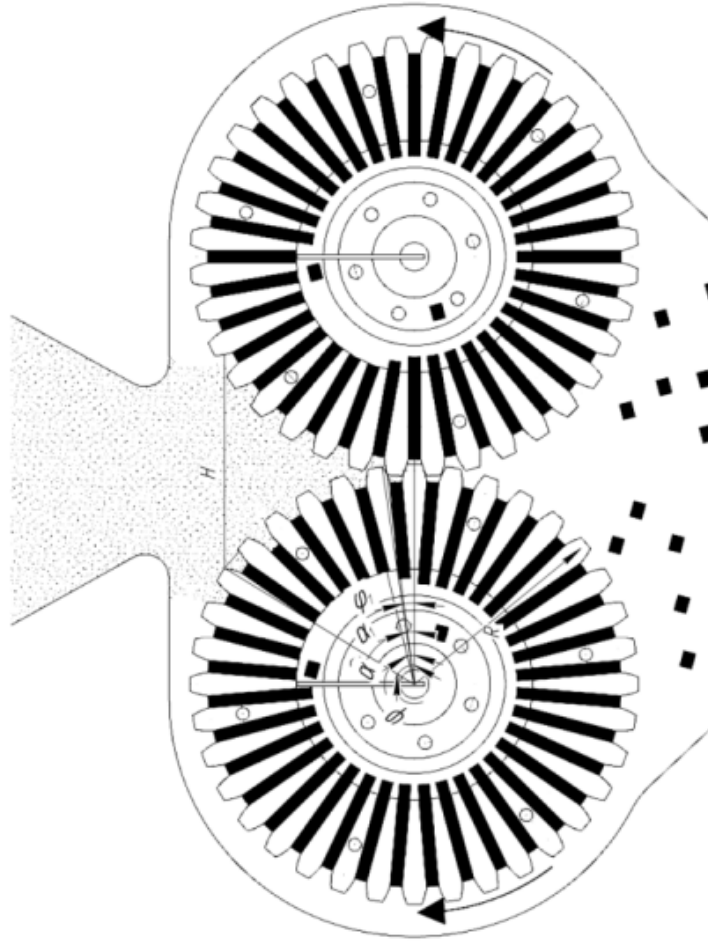


Схема подачі та стиснення кормів у грануляторі з горизонтальними матрицями

- A – міжцентрова відстань, м;
- r_a – радіус голівки зубів коліс, м;
- B – ширина коліс, м;
- v_y – вертикальна складова лінійної швидкості точки по поверхні голівки зуба, м/с;
- ρ_0 – щільність корму, кг/м³;
- φ – кут тертя корму по циліндричній поверхні голівки зуба коліс;
- ω – кутова швидкість обертання коліс, с⁻¹;
- r – радіус дільного кола зубчатого колеса, м;
- S_g – площа торцевої поверхні западини, м²;
- S_3 – площа торцевої поверхні зуба, м²;
- h_a^* – коефіцієнт висоти зуба;
- χ – коефіцієнт зміщення;
- z – кількість міжзубових западин на кожному колесі;
- m – модуль, м.

Пропускна здатність робочого органу

$$q = q_1 + q_2, \text{ кг/с};$$

Максимальна подача корму за рахунок сил тертя

$$q_1^{\max} = (A - 2r_a^{\max} \cdot \cos \varphi_2) B \cdot \rho_0 \cdot r_a^{\max} \cdot \omega \cdot \cos \varphi_2, \text{ кг/с};$$

Максимальна подача міжзубовими западинами

$$q_2^{\max} = r \left[2m(0,5z + h_a^* + \chi) - A \right] \cdot B \cdot \rho_0 \cdot \omega \cdot \frac{S_g}{S_g + S_3}.$$

До визначення питомої пропускної здатності шестеренного гранулятора в залежності від об'ємних елементів зубів і западин коліс-матриць

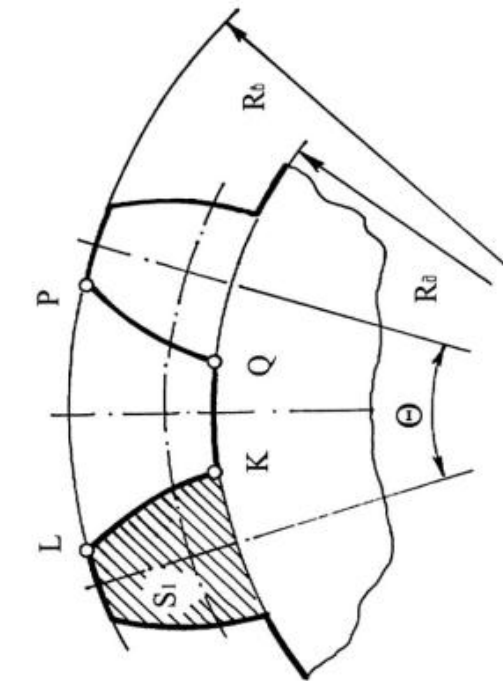


Схема до визначення площі міжзубової западини

$$S_{KLPQ} = \frac{1}{2} (r_a^2 - r^2) \theta - S_3.$$

Площа міжзубової западини

$$S_6 = \frac{\pi m}{2} \left(\frac{r_a^2}{r} - r + h_a \right) - S_3.$$

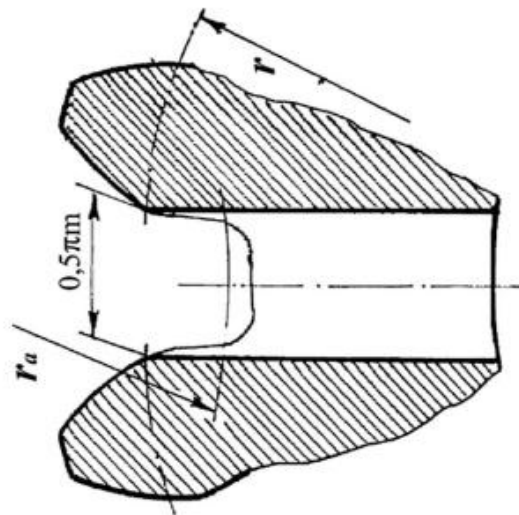


Схема до визначення додаткового простору міжзубових западин

Питома пропускна здатність шестеренного гранулятора

$$Q = 60 \cdot K_{\text{вт}} \cdot q_{\text{ншт}} \cdot n \cdot \rho_0 \cdot \frac{(q_{1\text{ншт}} + zS_6)}{zS_6},$$

$K_{\text{вт}}$ – коефіцієнт втрат; $q_{\text{ншт}}$ – питома об'ємна подача, $\text{м}^3/\text{см}$ ширини зуба; $q_{1\text{ншт}}$ – питома об'ємна подача силами тертя, $\text{м}^3/\text{см}$ ширини зуба; n – частота обертання коліс, с^{-1} .

До визначення експлуатаційних показників роботи шестеренного гранулятора

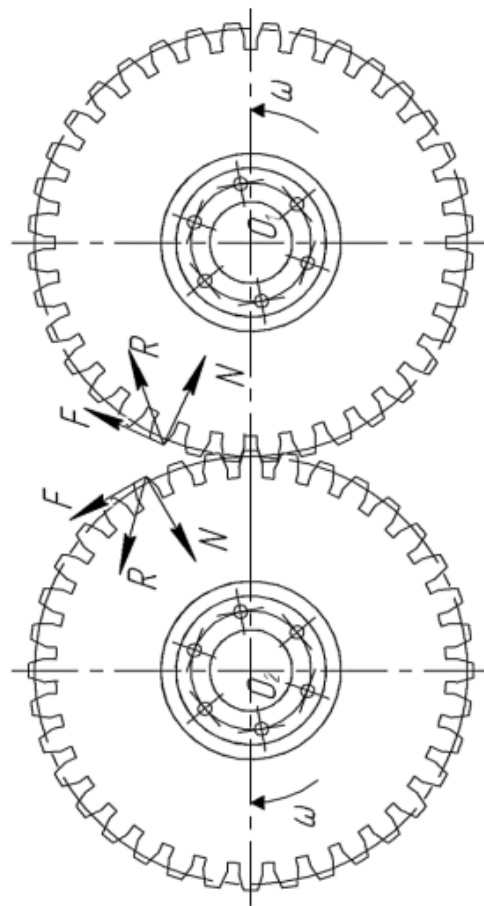


Схема сил у робочому органі гранулятора

P – діючий тиск, МПа; P_0 – характеристика опору корму стисканню, МПа; a – показник, що залежить від виду корму; k_1 – коефіцієнт пропорційності, враховує частку поверхні зубів і ступінь навантаження западин; f – коефіцієнт тертя корму по сталі; r – радіус зовнішньої поверхні матриці; K – кількість матриць; V – ширина коліс, м; φ – кут тертя корму по циліндричній поверхні голівки зуба коліс; ω – кутова швидкість обертання коліс, c^{-1} .

Показники деформації корму

$$\lambda = \rho / \rho_0; \varepsilon = (\rho - \rho_0) / \rho; \psi = (\rho - \rho_0) / \rho_0;$$

λ - ступінь стискання; ε - відносна деформація; ψ - відносна зміна щільності

Тиск гранулювання

$$P = P_0(e^{a\psi} - 1), \text{ МПа}$$

Робота стискання

$$W = (k_1 \text{ НВг}\varphi/2) [P_0(e^{a\psi} - 1) d\psi =$$

$$k_1 \text{ НВг}\varphi P_0 [e^{a\psi} - a((\rho - \rho_0) / \rho_0) - 1]/2a.$$

Нормальна сила стискання

$$N = k_1 \text{ Вг}\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1)d\psi = k_1 \text{ Вг}\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1)/(a - \psi)].$$

Сила тертя по поверхні матриці

$$F = f k_1 \text{ Вг}\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)].$$

Момент сил

$$M = f k_1 \text{ Вг}^2\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)].$$

Обертювий момент

$$M_m = Kfk_1 \text{ Вг}^2\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)] \cdot (R/r)$$

Необхідна потужність на привід зубчатих коліс

$$N_{\text{пр}} = \omega Kfk_1 \text{ Вг}^2\varphi P_0 [(e^{a\psi} - 1) / (a - \psi)] \cdot (R/r).$$

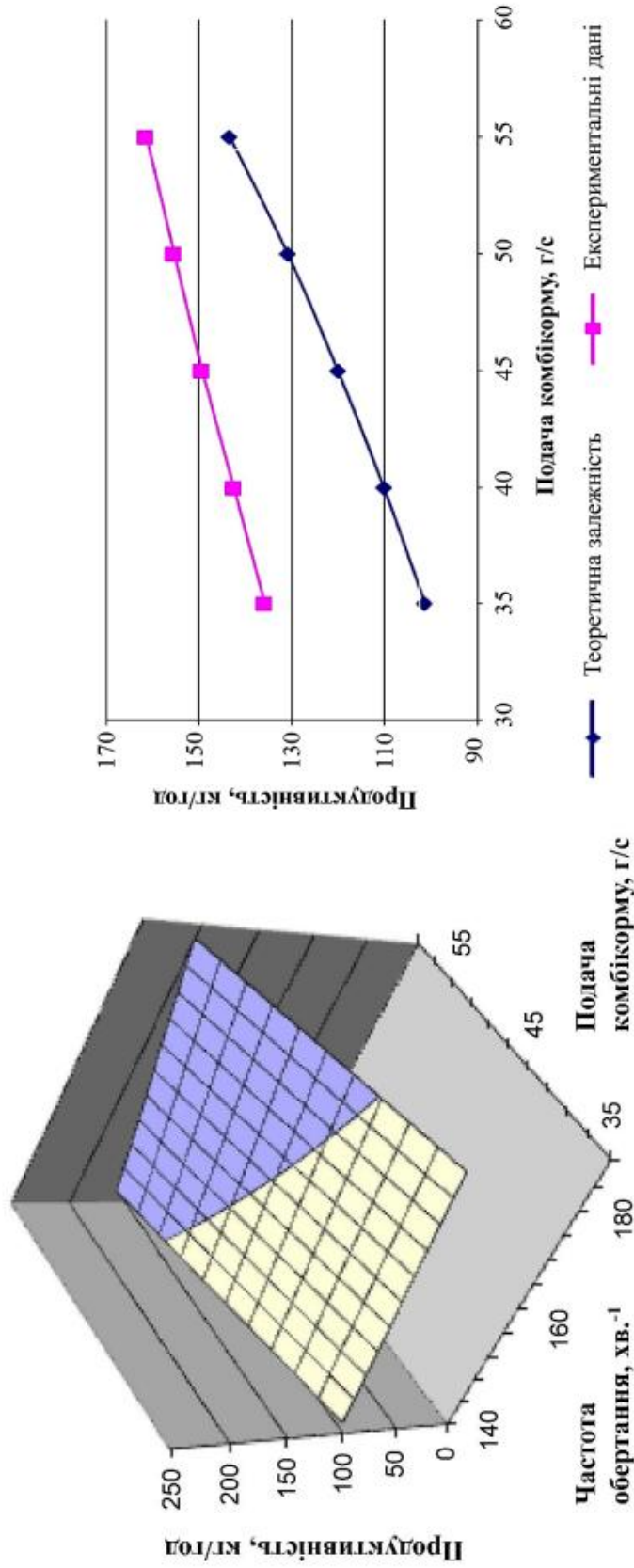
Програмою лабораторних досліджень передбачено:

- уточнення основних фізико-механічних властивостей вихідної сировини для гранулювання, що впливають на процес її стискання та подальшу інтенсивність утворення кормових гранул;
- обґрунтування параметрів і раціонального режиму роботи гранулятора з метою визначення оптимальної продуктивності пристрою.

Для визначення режиму роботи гранулятора використовувалася методика повнофакторного планування. Прийнято ортогональний план дослідження **двох факторів**, що змінювалися у межах: **частота обертання зубчатих коліс – 140...180 хв.⁻¹ (X_1)** у закованому вигляді) та **подача комбікорму – 35...55 г/с (X_2)**.

Критерії оптимізації: кількісний – **продуктивність гранулятора Q** , кг/год (U в закованому вигляді) та якісний – **кришмистість гранул K** , % (Z).

Фактори	Позначення	Одиниця вимірювання	Рівні варіювання			
			-1	0	+1	Інтервал
Частота обертання зубчатих коліс	X_1	хв. ⁻¹	140	160	180	20
Подача комбікорму	X_2	г/с	35	45	55	10

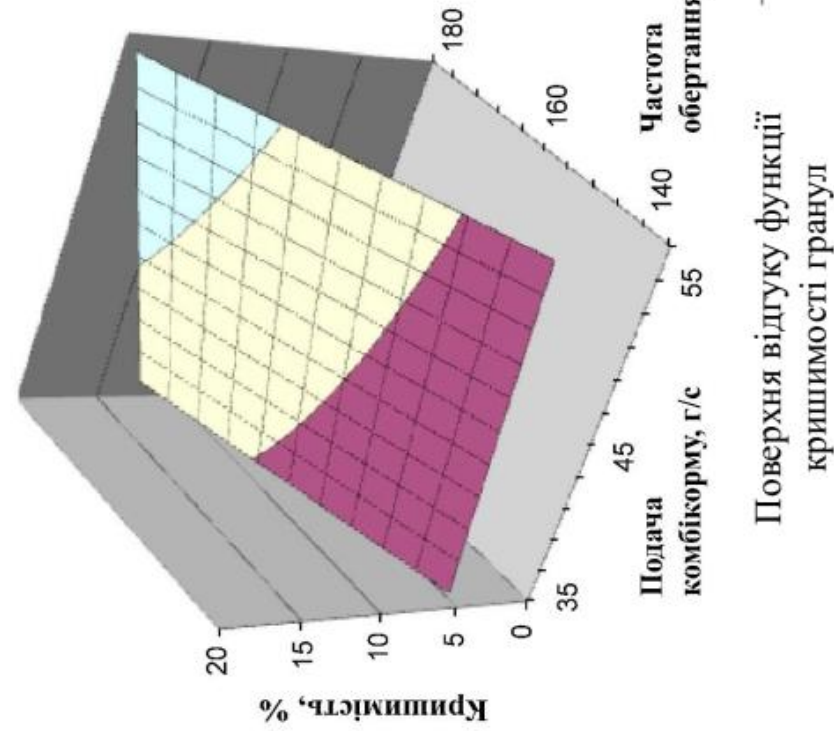


Поверхня відгуку функції продуктивності гранулятора

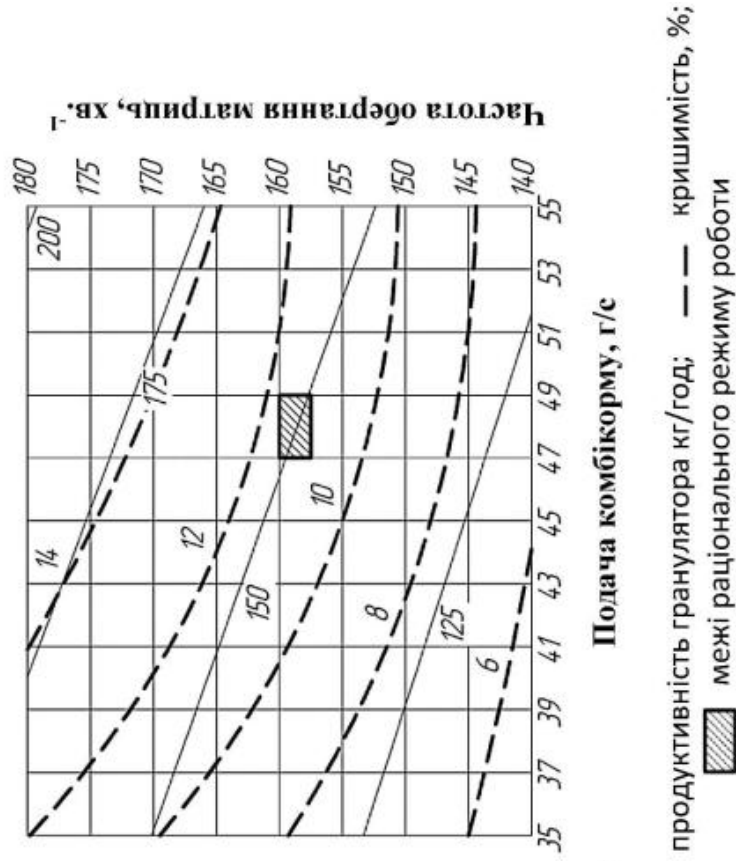
Порівняння продуктивності гранулятора за теоретичними та експериментальними даними

Продуктивність гранулятора

$$Q = -0,0093q^2 + 0,0027n^2 + 0,022qn - 1,07q - 0,16n + 24,37$$



Графічний розв'язок компромісної задачі



Кришмиість гранул

$$K = -0,0018q^2 - 0,0003p^2 + 0,007qp - 0,799q - 0,005p + 3,171$$

Раціональний режим роботи гранулятора

- подача корму: 47...49 г/с;
- частота обертання матриць: 157...160 хв.⁻¹
(до ізольованої кришмиєсті 12 %)

№ з/п	Показник	ГКМ -150	Розроблений гранулятор
1.	Кількість обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365
4.	Добова потреба у гранульованому кормі, кг	500	500
5.	Продуктивність гранулятора, кг/год	100	130
6.	Тривалість роботи обладнання за добу, год.	5	3,9
7.	Балансова вартість обладнання, грн.	24250	17000
8.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
9.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
10.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	6	6
11.	Потужність на привід, кВт	4	2,2
12.	Витрати на заробітну плату, грн.	118698	92584,44
13.	Амортизаційні відрахування, грн.	2425	1700
14.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	1940	1360
15.	Витрати на електроенергію, грн.	43800	18790,2
16.	Експлуатаційні витрати, грн.	166863	114434,64
17.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	52428,36
18.	Термін окупності розробленого гранулятора, років	-	0,32

1. Виробництво комбікормів у розсіпному вигляді має ряд недоліків, таких як гігроскопічність корму, мала об'ємна маса, схильність до розшарування при транспортуванні, що негативно впливає на його якість. Найефективніший спосіб усунення цих недоліків – гранулювання. Існуючі конструкції промислових прес-грануляторів магеріало- та енергомісткі, відповідно мають значні габарити та масу. Малогабаритне обладнання для приготування гранульованих кормів представлено на ринку у дефіциті, в основному закордонного виробництва. Збільшення виробництва гранульованих кормів вимагає удосконалення існуючих технологій, машин та обладнання у напрямку зменшення енергосмісткості та підвищення якості кормів і мас перспективи розвитку. При поглибленому аналізі існуючих конструкцій та схем розміщення робочих органів обладнання для гранулювання кормів виявлено, що найкращим варіантом з точки зору матеріало- та енергомісткості для грануляторів малої та середньої продуктивності є схема з горизонтальним розташуванням двох рівновеликих зубчатих коліс-матриць.

2. За результатами теоретичних досліджень отримано залежності продуктивності гранулятора, що пов'язують об'ємну подачу корму з геометричними параметрами зуба і западини на колесі. Визначені залежності об'єму повнопрофільного зуба та деякою обмеженою висотою, а також об'єму западини зубчатої матриці. Процес деформації корму в робочому просторі та питома робота стискання корму також описані новими залежностями. Отримані рівняння ущільнення корму враховують взаємозв'язок тиску гранулювання і щільності корму при його стисканні, роботу що витрачається при цьому та можуть бути використані для розрахунку грануляторів даного типу.

Силкові показники прес-гранулятора залежать від фізико-механічних властивостей конкретного виду кормів, їх можливо визначити тільки експериментально, а відповідно і витрати енергії на гранулювання кормів.

3. Для оцінки технологічних параметрів гранулятора з рівновеликими зубчатыми матрицями проведено лабораторні дослідження запропонованої конструкції, що дозволили отримати математичну модель у складі функцій продуктивності гранулятора та кришмисткості отриманих гранул залежно від частоти обертання зубчатих коліс та подачі корму в зону пресування.

За результатами досліджень щодо визначення раціонального режиму роботи гранулятора оптимальне співвідношення його продуктивності та якості гранул отримано при частоті обертання матриць 157...160 хв.⁻¹ і подачі корму 47...49 г/с. За розрахунками шестеренний гранулятор з частотою обертання матриць 160 хв.⁻¹ і діаметром матриці 288 мм забезпечує продуктивність 131 кг/год при енергосмісткості 16,9 кВт·год/т.

4. Виконано аналіз стану охорони праці у лабораторії при проведенні досліджень експериментального зразку гранулятора кормів. Розроблено проєкт інструкції з охорони праці для оператора лінії гранулювання кормів. Приведено порядок дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

5. Проведена техніко-економічна оцінка розробленого гранулятора кормів дозволяє зробити висновок, що він має нижчі показники експлуатаційних витрат у порівнянні з серійним гранулятором кормів ГКМ-150 завдяки вищій продуктивності та меншій споживаній потужності приводу. При цьому річна економія експлуатаційних витрат складає 52428,36 грн. а термін окупності розробленого гранулятора - 0,32 року.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА**

Всеукраїнська студентська науково-практична конференція

Дніпро, 2021

УДК 631:62-5

Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр.
І 62 студ. наук.-практ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро:
ДДАЕУ, 2021. – 80 с.

У збірнику представлені наукові матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Інжиніринг агропромислового виробництва» (zareestrovano в УкрІНТЕІ, 8.11.2021, № 904). Тематика наукових матеріалів присвячена питанням розроблення та впровадження інноваційних технологій та технічних засобів агропромислового виробництва.

Наукові матеріали надані в авторській редакції з дотриманням стилю автора. За фактичний матеріал і його інтерпретацію відповідальність несуть автори та наукові керівники.

Адреса оргкомітету:

Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25
тел. (050) 970-16-90, Дніпровський державний аграрно-
економічний університет, кафедра механізації виробничих
процесів у тваринництві, dudin.v.yu@dsau.dp.ua

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021

Оргкомітет конференції**Голова:**

Андрій ПУГАЧ, декан інженерно-технологічного факультету ДДАЕУ, доктор наук з державного управління, професор

Співголови:

Ельчин АЛІЄВ – директор ІОК НААН (м. Запоріжжя), доктор технічних наук, старший дослідник

Володимир ДУДІН – завідувач кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Члени оргкомітету:

Віталій ДИРДА - завідувач кафедри надійності і ремонту машин ДДАЕУ, доктор технічних наук, професор, Лауреат державної премії України, Заслужений діяч науки і техніки

Юрій ЧУРСІНОВ - завідувач кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції ДДАЕУ, доктор технічних наук, професор

Дмитро МІЛЬКО – професор кафедри машиновикористання в землеробстві ТДАУ ім. Д. Моторного (м. Мелітополь), доктор технічних наук, професор

Олексій КАЗАЧЕНКО - завідувач кафедри сільськогосподарських машин ДБУ (м. Харків), доктор технічних наук, професор

Олексій ДЕРКАЧ завідувач кафедри експлуатації машинно-тракторного парку ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Геннадій ТЕСЛЮК - завідувач кафедри тракторів і сільськогосподарських машин ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Роман МАЛЄГІН – голова ради молодих вчених, асистент кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві ДДАЕУ

Ріпний В.О. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩУВАЧА СТІЙЛ	66
Черненко К.К. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕПЛОДІВ	69
Івлєва В.В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЕСТЕРЕННОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ	72
Наливайко М.Я. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ	75
Лагутін Р.В. КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ГОДІВЛІ ВРХ	78
Хрущ В.В. РІВЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІКОРМІВ В УКРАЇНІ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ЇХ ПРИГОТУВАННЯ	80
Панкєєв П.М. ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ УЛЬТРАМАЛООБ'ЄМНОГО ОБПРИСКУВАННЯ	82

УДК 631.363

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЕСТЕРЕННОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ

Івлева В.В.

*здобувачка вищої освіти ОС Магістр,
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ*

*Науковий керівник – Дудін В.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент*

В Україні й за кордоном найбільш поширені вальцево-матричні прес-гранулятори з активною кільцевою матрицею і пасивними пресуючими роликами. Однак, за останнє двадцятиріччя конструкції таких пресуючих механізмів хоча й досягли більш високого технічного рівня, але за структурними ознаками змінилися незначно. Шестеренні гранулятори виділені окремо, оскільки вони поєднують безперервний процес порційного гранулювання матеріалу. Найбільш детальна схема поділу шестеренних прес-грануляторів за основними ознаками приведена у відомих роботах С.В. Щербини [1].

Підвищення продуктивності гранулятора вимагає використання всіх можливих ресурсів конкретної конструктивної схеми робочих органів.

Продуктивність шестеренного гранулятора з рівновеликими колесами у функції геометричних і конструктивних параметрів [1] у загальному вигляді

$$Q_c = 2 \cdot z \cdot V_{од} \cdot \rho_0 \cdot n, \text{ кг/с;} \quad (1)$$

де z – кількість міжзубових западин на кожному колесі, $V_{од}$ – об'єм однієї порції корму, виділеної при утворенні замкнутого простору вхідним зубом спряженого колеса, м^3 ; ρ_0 – щільність корму в момент утворення замкнутого простору, кг/м^3 ; n – частота обертання коліс, с^{-1} .

Можливості підвищення продуктивності гранулятора пов'язані зі збільшенням об'єму міжзубових западин і збільшенням щільності корму в западині у момент утворення замкненого об'єму. Об'єм міжзубової западини залежить від параметрів зубчатого профілю колеса, а щільність корму в міжзубовій западині залежить від співвідношення об'ємів корму, що подається і об'ємів западин у момент утворення замкненого простору.

Шестеренні робочі органи грануляторів зазвичай розглядають як два однакових зубчатих колеса з евольвентним профілем зубів. Евольвентний профіль зубів приймається незмінним, так як за колесами зберігається функція передачі крутного моменту від одного колеса до іншого. З параметрів зубчатого зачеплення у дослідженнях важливий модуль. Окрім модуля на геометрію зуба впливає цілий ряд чинників, наприклад, характер і коефіцієнт зміщення вихідного профілю, коефіцієнт відхилення міжцентрової відстані, ступінь загострення голівки зубів та ін. [2].

Продуктивність зубчатого робочого органу визначається кількістю кормової суміші, що подається в зону стискання (подачею). Вважаючи масу кормосуміші рівномірно розподіленою за об'ємом, подачу матеріалу можливо визначити як суму двох складових

$$q = q_1 + q_2, \text{ кг/с}; \quad (2)$$

де q_1 – подача маси за рахунок сил тертя корму по поверхні виступів зубчатих коліс, кг/с; q_2 – подача маси міжзубовими проміжками двох пресуючих коліс, кг/с.

Подача за рахунок сил тертя дорівнює

$$q_1 = (A - 2r_a \cdot \cos \varphi) B \cdot v_y \cdot \rho_0, \text{ кг/с}; \quad (3)$$

де A – міжцентрова відстань, м; r_a – радіус голівки зубів коліс, м; B – ширина коліс, м; v_y – вертикальна складова лінійної швидкості точки на поверхні голівки зуба, м/с; ρ_0 –

щільність кормосуміші, $\text{кг}/\text{м}^3$; φ – кут тертя кормосуміші по циліндричній поверхні голівки зуба коліс.

Середня теоретична подача міжзубовими проміжками гранулятора з рівновеликими колесами визначається виразом

$$q_2 = r(2r_a - A)B \cdot \rho_0 \cdot \omega \cdot \frac{S_6}{S_6 + S_3}, \text{ кг/с}; \quad (4)$$

де r – радіус ділильного кола зубчатого колеса, м; ω – кутова швидкість обертання коліс, с^{-1} ; S_6 – площа торцевої поверхні западини, м^2 ; S_3 – площа торцевої поверхні зуба, м^2 .

Радіуси кіл зубчатого зачеплення визначаються відомими з теорії машин і механізмів виразами [2].

Аналізуючи залежності (3) та (4), можна зробити наступні висновки:

- досягнення максимальної подачі матеріалу за рахунок сил тертя можливе зі збільшенням радіуса голівки зуба;
- застосовуючи максимальні значення модуля при позитивному найбільшому зміщенні вихідного профілю зуба і не обмежуючи висоту зуба, можливо збільшити подачу корму гранулятором за рахунок об'єму міжзубових западин;
- максимальна подача корму міжзубовими проміжками у сукупності з максимальною подачею за рахунок сил тертя забезпечують найвищу продуктивність зубчатого гранулятора з рівновеликими колесами.

Список використаних джерел:

1. Щербина В.И. Шестеренные грануляторы / В.И. Щербина, С.В. Щербина. – Ростов: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2002. – 120 с.

2. Болтянська Н.І. Шляхи вдосконалення конструкцій шестеренних прес-грануляторів / Н.І. Болтянська // Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. 10 (109). – С. 104-110.