

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Оптимізація параметрів молоткового подрібнювача грубих кормів

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Лиман Іван Володимирович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2023

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

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«09» листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лиману Івану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація параметрів молоткового подрібнювача грубих кормів

керівник роботи Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування кормів, зокрема молоткових подрібнювачів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Способи та машини для подрібнення стеблових кормів. 2. Теоретичні дослідження молоткової дробарки. 3. Експериментальні дослідження молоткової дробарки. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.11.2023 р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

(підпис)

Лиман І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лиман І.В. Оптимізація параметрів молоткового подрібнювача грубих кормів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Дипломна робота містить п'ять основних розділів. У вступі дипломної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. З аналізу стану питання приготування кормів встановлено схему подрібнювача, який підлягає удосконаленню. В другому розділі проведено теоретичне моделювання роботи подрібнювача на основі чого обґрунтовано технологічні, геометричні, кінематичні та силові параметрів. В результаті лабораторних досліджень (розділ 3) визначено раціональні співвідношення конструктивно-режимних параметрів розробленого подрібнювача. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. В п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого подрібнювача. На завершення сформульовано загальні висновки, складено бібліографічний список та оформлено додатки.

Ключові слова: грубі корми, подрібнювач, молоток, потужність, питома енергоємність, питомі експлуатаційні витрати.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Способи та машини для подрібнення стеблових кормів	9
1.1 Актуальність проблеми подрібнення в кормовиробництві	9
1.2 Способи та засоби для подрібнення стеблових кормів	17
1.3 Показники ефективності процесу подрібнення	31
1.4 Висновки по розділу	35
2 Теоретичні дослідження молоткової дробарки	36
2.1 Дослідження руху повітряно-продуктового потоку в камері	36
2.2 Дослідження швидкості руху частинки по криволінійній поверхні вихрової камери	42
2.3 Висновки по розділу	46
3 Експериментальні дослідження молоткової дробарки	48
3.1 Програма експериментальних досліджень	48
3.2 Методика експериментальних досліджень	48
3.3 Результати досліджень	53
3.4 Висновки по розділу	65
4 Охорона праці	67
4.1 Загальні вимоги охорони праці при подрібненні грубих кормів	67
4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачем грубих кормів	68
4.3 Правила поведінки в надзвичайній ситуації	70

4.4 Висновки по розділу	71
5 Економічна оцінка	72
Загальні висновки	75
Бібліографічний список	76
Додатки	

ВСТУП

На сьогоднішній день однією з найважливіших сфер життєзабезпечення населення є агропромисловий комплекс. Особливо актуальна проблема забезпечення населення якісною продукцією тваринництва. Розвиток тваринницького комплексу з метою задоволення зростаючих потреб у м'ясо-молочних продуктах безпосередньо з створенням міцної кормової бази. Для отримання та збереження високих економічних показників у тваринницької галузі годівлю тварин має здійснюватись збалансованими кормами, що повністю задовольняють потреби організму в необхідних для розвитку речовинах.

У раціоні великої рогатої худоби одним із основних компонентів є стеблові корми, без яких неможлива повнораціонна годівля. Однак через високий вміст клітковини вони важко перетравлюються у травному тракті тварин, а втрати енергетичної цінності сягають 70...80%.

Підвищити ефективність згодовування стеблових кормів можна різними способами, у тому числі і подрібненням до частинок заданого гранулометричного складу. Подрібнені стеблові корми добре транспортуються, дозуються та гранулюються, що дозволяє здійснювати повну механізацію технологічних процесів їх переробки, наприклад, при отриманні комбикормів, більша частина яких проводиться безпосередньо у господарствах.

Подрібнення грубих кормів для подальшого гранулювання здійснюється переважно молотковими дробарками в одну чи дві стадії. Нині вітчизняною промисловістю такі дробарки практично не виробляються. Досвід експлуатації дробарок з пневматичним завантаженням – вивантаженням матеріалу, які широко використовуються в малогабаритних комбикормових агрегатах, виявив поряд з позитивними показниками та ряд недоліків: висока енергоємність процесу подрібнення, нерівномірний гранулометричний склад готового продукту, значна частка пилоподібної фракції у подрібненому матеріалі. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці конструкції, що дозволяє подрібнювати стеблові матеріали.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу подрібнення шляхом обґрунтування параметрів та режимів роботи подрібнювача стеблових кормів з робочим органом молоткового типу.

Об'єкт дослідження – технологічний процес приготування кормів на тваринницькій фермі подрібнювачем стеблових кормів із робочим органом молоткового типу.

Предмет дослідження – залежності процесу приготування кормів, вивчення дії сил на стеблові корми в процесі різання в подрібнювачі робочим органом молоткового типу.

Завдання досліджень.

1. Виявити сучасні тенденції розвитку технічних засобів подрібнення стеблових кормів, що застосовуються в господарствах малих форм власності, та удосконалити класифікацію обладнання підготовки кормів до згодовування тварин, що дозволяє визначити перспективне направлення для розробки нового технічного засобу та обґрунтувати його конструктивно-технологічну схему

2. Виявити аналітичні залежності технологічного процесу подрібнення стеблових кормів подрібнювачем з робочим органом молоткового типу, визначити раціональні параметри та режими його роботи.

3. Обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри подрібнювача стеблових кормів із робочим органом молоткового типу.

4. Провести експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів подрібнювача з робочим органом молоткового типу.

5. Дати економічну оцінку ефективності впровадження запропонованого подрібнювача стеблових кормів з робочим органом молоткового типу.

1 Способи та машини для подрібнення стеблових кормів

1.2 Актуальність проблеми подрібнення в кормовиробництві

За зоотехнічними вимогами силос і зелена маса для свиней повинні подрібнюватись до розмірів січки (0,005...0,010) м з утриманням таких часток не менше 70 % від загальної маси корму при довжині інших не більш 0,02 м; для птиці розмір січки повинний бути розміром до 0,005 м; для великої рогатої худоби розмір січки (0,04...0,05) м з кількістю часток не менше 70 % від загальної маси корму [1].

Подрібнення грубих кормів: сіна, соломи для згодовування великій рогатій худобі повинно забезпечити довжину часток 0,03...0,05 м з кількістю часток не менше 70 % від загальної маси корму.

Вивченню ефективності використання зелених кормів в свинарстві присвячено дослідження. Дослідники вважають, що виростити свиноматок і молодняк майже неможливо без зелених вітамінних кормів і що ефективність зелених кормів залежить від належного сполучення їх з кількістю інших кормів для кожного віку тварин. В раціоні молодняку у віці від двох до чотирьох місяців зелені корми повинні складати в середньому біля 30 %, а в віці від п'яти до восьми місяців – (54...60) %.

До властивостей стеблових кормів, які впливають на процеси їх подрібнення, відносять: фізичні (механічні) властивості та технологічні.

До основних фізичних властивостей відносять розмірні характеристики, вологість, об'ємну масу, густину кормів, тощо.

Зелена маса містить до 80 % вологи. Солома вважається сухою, якщо в ній міститься до 14 % вологи, середньої вологості - при вмісті вологи в межах (14...16) %, вологою - при (16...20) % і сирою - при вологості більш 20 %. Вологоємність соломи складає (120...150) %. Повне насичення соломи вологою відбувається протягом (1,0...1,5) годин.

Вологість, об'ємну масу та кут природного нахилу подрібнених листостеблових кормів наведено в таблиці 1.1 [6]. Технологічні властивості стеблових кормів наведено в таблиці 1.2 [9].

Відомо, що рослинна стеблова сировина складаються з каркаса і заповнювача. Каркас має пружні і пластичні властивості, має волокнисту структуру, аналогічну структурі деревини. Заповнювач уявляє собою аморфну масу.

В роботі Василенко А.А. [10] встановлено, що міцнісні властивості стебел злакових культур порівняно високі. Міцність стебла на розривання наближається до алюмінію. При розтягуванні стебла підкоряються лінійному закону, що зберігається майже до самого моменту розриву. В [9] представлені дані з фізичних властивостей трав'яних культур. З приведених даних бачимо, що найбільший опір зрізу мають сухі і помірковано зволожені рослини. Стебла різноманітних культур неоднаково реагують на характер впливу. Робота при подовжньому динамічному розірванні для жита в два рази більше, ніж при поперечному, а для пшениці навпаки в два рази менше [11].

Соломисті матеріали мають порівняно високий опір різанню. Так зусилля різання соломи при різанні лезом з кутом загострення 10° складало $14,5 \text{ кН/м}$ довжини леза [12]. Питомий тиск, достатній для порушення різання соломи без ковзного прямування ножа, дорівнює $(5...12) \text{ кН/м}^2$ [13].

При подрібненні соломи деформацією вигину важливе значення мають показники модуля пружності при дії моменту, що згинає, і куту зламу. Середні значення модуля пружності складають для ячменя $18,0 \text{ МПа}$, для пшениці $(14,1...25,9) \text{ МПа}$ і жита $36,4 \text{ МПа}$. При вигині стебел зеленої маси спостерігається область непружних деформацій, а потім відбувається злам.

Критичний кут зламу складає $(18,91...21,20)^\circ$. Зусилля вигину при зламі в середній частині стебла вологістю $59,8 \%$ і діаметрі $(0,015...0,02) \text{ м}$ дорівнює $(140...530) \text{ Н}$ при відстані між опорами $0,2 \text{ м}$. Момент зламу для зелених стеблових кормів у середньому дорівнює $25,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$ [18].

Вологість матеріалу, який подрібнюється дуже впливає на енергоємність і якість подрібнення. У [20] визнано, що при збільшенні вологості стебел кукурудзи від (7...10)% до (70...75)% середньозважена довжина часток зменшується в (2...2,3) рази, а енергоємність - відповідно в (1,53...1,65) рази.

Таблиця 1.1 - Вологість, об'ємна маса та кут природного нахилу подрібнених кормів

Стебловий корм	Вологість, %	Об'ємна маса, кг/м ³	Кут природного нахилу, град.
Сіно через 3 місяця після укладки	(15...17)	(60...85)	-
Житня і пшенична солома через 3 місяця після укладки	(15...17)	(45...50)	-
Сіно і солома в пресованому вигляді	(12...17)	(250...290)	-
Солом'яна різка суха	(12...16)	(30...50)	(50...60)
Сіно здрібнене	(12...13)	(60...150)	-
Трав'яне борошно	(12...14)	(180...200)	(34...65)
Сінна різка	(12...17)	(150...180)	(45...47)
Зелена маса:			
Жито	(73...77)	(280...350)	(47...49)
Віко-овес	(78...80)	(280...330)	(50...55)
Кукурудзи	(78...80)	(300...350)	(53...55)
Кукурудзяний силос з траншеї	(72...80)	(600...750)	(45...53)
Кукурудзяний силос розпушений	(72...77)	(350...400)	-
Комбісилос	(75...80)	(750...800)	(42...50)
Сінаж трав'яний зі сховищ	(50...55)	(400...600)	(50...55)
Сінаж трав'яний розпушений	(50...55)	(300...350)	(45...55)

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що механічні властивості стеблових матеріалів різноманітних культур і сортів дуже відрізняються.

Робота різання стебел зеленої маси кукурудзи коливається від 2 Дж (діаметр стебла 0,013 м) до 15,6 Дж (діаметр стебла 0,038 м). Деревинна частина стебла поглинає основну частку енергії при перерізуванні. Опір різанню серцевини не перевищує 13 % від загального опору [21].

Затрати енергії на різання значною мірою визначаються вологістю і віком рослин. За даними [21], при вологості 90 % питомий опір при статичному навантаженні дорівнює 0,6 МПа, при динамічному (5...6) МПа, а при вологості 75 % відповідно 0,9 МПа і (7...8) МПа. Робота різання в період цвітіння мітелок до воскової зрілості зерна збільшується від (1,8...2,8) Дж до (6...8) Дж. Питома робота різання стебел силосної маси змінюється від 5,9 кДж/м² до 23,6 кДж/м² [21].

Таким чином, стебла зеленої маси характеризуються високими показниками опору основним деформаціям: вигину, розтягу і різанню.

Взаємодія робочих органів подрібнювачів з технологічною масою, якість і енергоємність процесів подрібнення значною мірою залежать від таких властивостей, як структура корму, вологість, гранулометричний склад (розмір), щільність, об'ємна маса, забруднення сторонніми предметами, коефіцієнт зовнішнього і внутрішнього тертя, кут природного укусу, опору стебел подрібненню.

Розрізняють фізичні і механічні властивості кормів.

До фізичних властивостей кормів відносяться вологість, гранулометричний склад (розміри часток), об'ємна маса, щільність, пористість, водопоглинання, водовіддача, гігроскопічність, теплоємність, теплопровідність і в'язкість.

До механічних властивостей кормів відносяться коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, бічного тиску, кут природного укусу, опір стискові, різанню, витікання, релаксація напруг, повзучість.

До механічних властивостей стеблових кормів, що визначають процес їх подрібнення, відносять модуль деформації E , коефіцієнт Пуассона, контактну напругу що руйнує, критичне зусилля різання лезом і інші (таблиця 1.2) [6].

Механічні властивості кормів, такі, як опір стисканню, різанню або руйнуванню ударом, і фізичні – здатність усмоктувати або випаровувати вільну вологу, змінювати стан під дією теплової або хімічної обробки – часто відносять до технологічних властивостей кормів.

Таблиця 1.2 - Механічні характеристики стеблових кормів

Корм	Модуль деформації, МПа*	Коефіцієнт Пуассона*	Коефіцієнт тертя матеріалів по сталі		Руйнуюча контактна напруга, МПа*	Критичне зусилля різання, Н*
			статичний	динамічний		
Кукурудза	33-35 /34,5-37,1	0,00775- 0,0374 /0,0394-0,071	0,52-0,54	0,41-0,47	14,1-18,1	81,1-103
Соняшник	40-45 /42-46	0,0011-0,068 /0,02669-0,04	0,76-0,80	0,52-0,54	17,3-19,8	87-102,6
Озима пшениця	50-70 /60-80	0,008-0,09 /0,03-0,155	0,37-0,40	0,49-0,53	0,98- 11/11-13	48,3- 54/53- 64,1
Жито	55-68 /60-82	0,0084-0,079 /0,032-0,162	0,36-0,39	0,47-0,50	105- 13/115- 142	49,1- 56,5/61,5- 69,8
Трава	18-23 /19,3 /25	0,02-0,14 / 0,061-0,183	0,34-0,92	0,56-0,80	93- 12,7/98-15	44- 53,7/53- 62,1
Віко-овес	– /36-38	– /0,085-0,116	0,33-0,35	0,28-0,31	9-115	–/47-58,1
Пшенична солома	260-290 /270-310	0,0026-0,056 /0,004-0,061	0,33-0,39	0,26-0,28	20,5- 29,1/23- 30,6	97- 115/98- 121
Сіно	220-270 /228/280	0,0001-0,104 /0,004-0,12	0,35-0,39	0,48-0,58	196- 26/19,9- 29,7	968- 124/897- 129

* У чисельнику характеристика для стебла, у знаменнику – для шару стебел.

Фізичні, механічні і технологічні властивості будь-якого корму взаємозалежні й обумовлюють одне одного.

Основні фізико-механічні властивості стеблових кормів надані в таблиці 1.3 [6].

Таблиця 1.3 - Основні фізико-механічні властивості стеблових кормів

Корм	Вологість, %	Об'ємна маса, т/м ³	Кут природного укошу, град.
Сіно*	15-17	0,060-0,085	–
Житня або пшенична солома*	15-17	0,045-0,050	–
Сіно і солома в пресованому виді	12-17	0,250-0,290	–
Солом'яне сухе різання	12-16	0,030-0,050	50-60
Зелена свіжоскошена маса:			
жита	73-77	0,280-0,350	47-49
віко-овса	78-80	0,280-0,330	50-55
кукурудзи	78-80	0,300-0,350	53-55
Кукурудзяний силос із тран- шій (розпушений)	72-80	0,600-0,750	45-53
Трав'яний сінаж зі сховищ (розпушений)	50-55	0,300-0,350	45-55

* Через три місяці після укладки

Основним видом механічної обробки зелених стеблових кормів є різання, у силу цього про міцність їх судять по характеристиках опору різанню, таким, як питомий опір різанню q_0 (кН/м), руйнівні напруження зрізу $\tau_{\text{різ}}$ (МПа), питома робота різання $A_{\text{пит. різ.}}$ (кДж/м²). За результатами дослідження руйнування шару стебел різанням у замкнутій горловині можна одержати два показники міцності стеблових кормів. Один, введений В.П. Горячкіним – питомий

опір q_0 (Н/м) різанню «рубанням» або, що той же саме, питомий тиск леза ножа на матеріал, і інший показник – умовне руйнівне напруження зрізу $\tau_{\text{різ}}$ (Па). Умовне руйнівне напруження зрізу являє собою відношення зусилля різання, що діє на шар у площині розрізу, до дійсної площі поперечного переріза шару, що перерізається.

Поряд з показниками міцності важливе значення мають і показники питомої роботи різання, що характеризують енергоємність процесу. Так, дослідження механічних властивостей стебел луб'яної сировини виконані проф. В.И. Крагельским показали, що опір стебел згинанню більш зручно оцінювати по величині кута γ зламу. Кутом зламу називається кут між подовжною віссю зламаної ділянки стебла і його первісним положенням до деформації.

Для опису процесу деформування стебла як гнучкої нитки при поперечному ударі використовується теорія Рахматуліна Х.А. [17], що дозволяє встановити аналітичну залежність динамічного кута зламу γ_d від швидкості удару $V_{\text{уд}}$.

В результаті дослідження хвильового процесу деформацій і швидкостей руху точок нитки після поперечного удару Рахматулін Х.А. одержав рівняння, що встановлює залежність між динамічним кутом γ_d зламу і швидкістю $V_{\text{уд}}$ удару:

$$\text{tg}\gamma_d = 1,253 \sqrt{\frac{V_{\text{уд}}}{c_0}}, \quad (1.1)$$

де c_0 – швидкість поширення пружних (подовжніх) хвиль.

Ця формула справедлива для області пружних деформацій, поки напруги в матеріалі стебел не досягнуть межі пружності (або близького до нього границі текучості).

Визначення динамічних характеристик фізико-механічних властивостей стеблових кормів зробив Карнов А.М. (ЛСГІ) на експериментальній установці,

що представляє різновид мірних стрижнів Гопкінсона-Дейвіса. У результаті численних спостережень і вимірів виявилось, що сухі стебла люцерни мають динамічний кут зламу $\gamma_d=21^0$ (середнє значення), а статичний $\gamma_{ст}=15^0$.

Якщо кут зламу використовувати як характеристику міцності для волокнистих рослинних матеріалів, що відбиває залежність $\sigma = f(\gamma)$, то можна знайти і відповідний коефіцієнт динамічності, виразивши його у виді відношення:

$$k_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_{ст}}. \quad (1.2)$$

За даними дослідів, коефіцієнт динамічності сухих стебел люцерни коливається в межах 1,2-1,5.

При вигині стеблів зеленої маси спостерігається область непружних деформацій, а потім відбувається злам. Критичний кут зламу складає $(18,91...21,20)^0$. Зусилля вигину при зламі в середній частині стебла вологістю 59,8 % і діаметрі $(0,015...0,02)$ м дорівнює $(140...530)$ Н при відстані між опорами 0,2 м. Момент зламу для зелених стеблових кормів у середньому дорівнює 25,9 Нм.

За даними робота різання стеблів зеленої маси кукурудзи коливається від 2 Дж (діаметр стебла 0,013 м) до 15,6 Дж (діаметр стебла 0,038 м). Деревинна частина стебла поглинає основну частку енергії при перерізанні. Опір різанню серцевини не перевищує 13 % від загального опору.

Як зазначає Резнік Н.Є. процес різання в значній мірі залежить від вологості і віку рослин. При вологості 90 % питомий опір при статичному навантаженні дорівнює 0,6 МПа, при динамічному $(5...6)$ МПа, а при вологості 75 % відповідно 0,9 МПа і $(7...8)$ МПа. Робота різання в період цвітіння мітелок до воскової зрілості зерна збільшується від $(1,8...2,8)$ Дж до $(6...8)$ Дж. Питома робота різання стеблів силосної маси змінюється від 5,9 кДж/м² до 23,6 кДж/м².

Дослідження фізико-механічних властивостей грубих стеблових кормів проведені Доржисвим А.Б. показали, що:

1) зі збільшенням вологості об'ємна маса, дотичні напруження внутрішнього опору зсуву для всіх досліджуваних кормів зростають;

2) зі збільшенням нормального тиску значення коефіцієнтів тертя спокою й у русі для досліджуваних кормів зменшуються;

3) зі збільшенням швидкості поверхні тертя значення коефіцієнтів тертя для всіх досліджуваних кормів знижуються.

За даними Фірсова В.І. щільність стеблових кормів залежить від вологості, товщини укладки і часу. Помітний вплив на коефіцієнт тертя оказує фракційний склад і вологість кормів. При подрібненні стеблових кормів коефіцієнт тертя зростає на 10-15%.

На підставі проведених досліджень фізико-механічних властивостей зелених кормів Притченко С.А. встановив, що коефіцієнти тертя спокою (зсуву) зменшуються від 8 до 33% зі збільшенням питомого тиску від 3 до 30 г/см² на досліджуваній зразок у результаті зменшення зависання і прилипання досліджуваного матеріалу до робочої поверхні тертя. Коефіцієнти тертя ковзання для досліджуваних видів зелених кормів спочатку збільшуються від 15 до 35% зі збільшенням питомого тиску на зразок до 70 г/см², а потім зменшуються зі збільшенням питомого тиску до 100 г/см². Ця закономірність порозумівається збільшенням контактного питомого тиску зразка на робочу поверхню тертя. З подальшим збільшенням питомого тиску на зразок нерівності поверхонь досліджуваного матеріалу деформуються, і контактний питомий тиск зменшується. На коефіцієнт тертя ковзання впливає швидкість переміщення досліджуваного матеріалу по поверхні тертя. Зі збільшенням швидкості переміщення зразка від 1 до 65 м/с величина коефіцієнтів тертя значно зменшується для конюшини і менше для люцерни.

1.2 Способи та засоби для подрібнення стеблових кормів

Спосіб подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей корму і його призначення. Так, для подрібнення твердих матеріалів (зерно) використовують дроблення, для волокнистих – різання.

Використання зазначених способів підготовки визначається видом корму, його призначенням, видом і групою тварин, яким він буде згодовуватися, практичною доцільністю для кожного конкретного господарства.

За класифікацією Ясенецького В.А. та Гончаренка П.В. [19] існує кілька способів подрібнення, що класифікуються за характером впливу на корм (рис. 1.3).

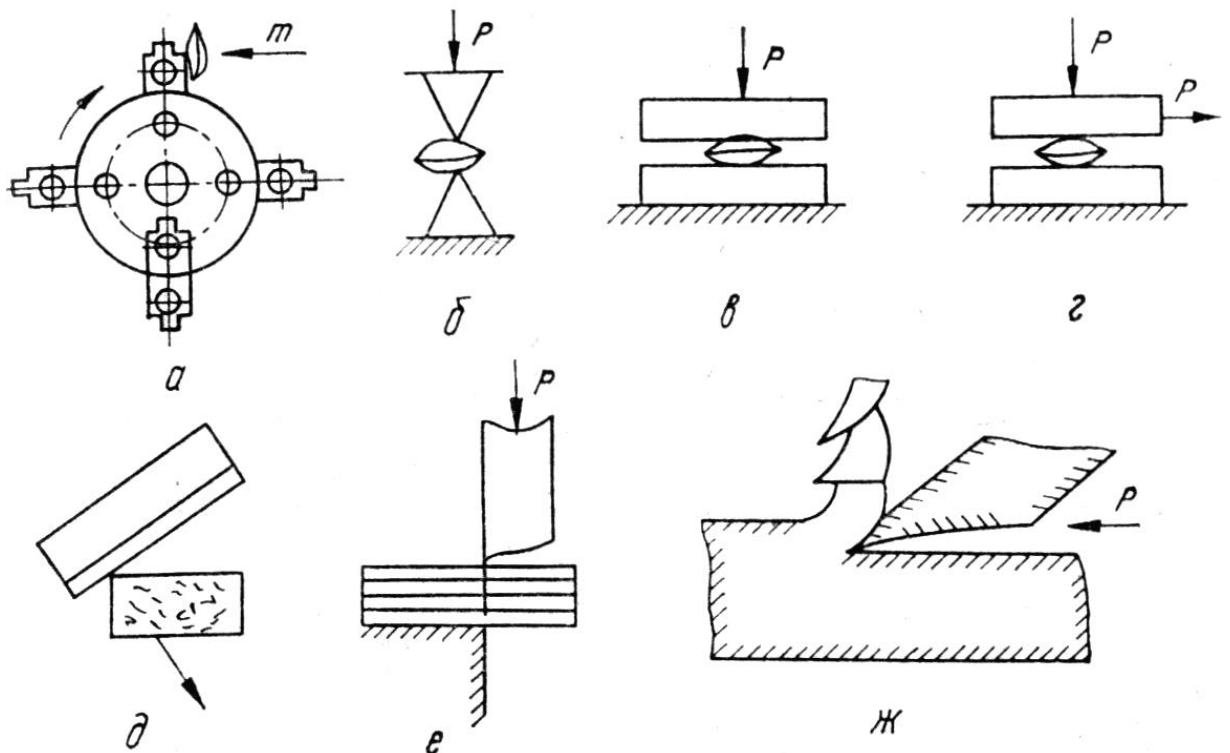


Рис. 1.3 Способи подрібнення кормів: а) ударом; б) розколюванням; в) раздавлюванням (плющенням); г) стиранням; д) різання лезом; е) різання пуансоном; ж) різання різцем.

Спосіб подрібнення обумовлює конструкцію подрібнюючого апарата, його параметри і режим роботи. У залежності від способу виконання технологічного процесу розрізняють [19] машини для подрібнення кормів методом різання і машини для дроблення кормів. Крім способу подрібнення конструкцію апарата визначає вид корму, що подрібнюється (таблиця 1.4). По типу конструкції розрізняють барабани, що ріжуть, із протирізальною пластиною, дискові

апарати, що ріжуть, молоткові ротори з решетами і деками, штифтові ротори, плющильні вальця й ін.

Таблиця 1.4 - Робочі органи для подрібнення кормів

Робочі органи	Технологічна операція				
	подрібнення сипких матеріалів	плющення зерна	подрібнення грубих кормів	подрібнення коренеплодів	подрібнення зелених кормів
Молоткові	+	–	+	+	+
Штифтові	+	–	+	–	–
Ножові	–	–	+	+	+
Вальцеві	+	+	–	–	–

На сьогодні для подрібнення стеблових кормів найбільше використання отримали ножовий та комбінований робочі органи. В машинах для подрібнення стеблових кормів застосовують: молоткові, штифтові, ножові, комбіновані робочі органи. Для приготування птиці і свиням силосу і комбісилосу траву і коренеплоди подрібнюють і готують з них пасту, це робиться на спеціальних машинах – пастовиготовлювачах або на переустаткованих кормодробарках.

Робочі органи різального типу одержали широке поширення в мобільних польових подрібнювачах та кормозбиральних комбайнах. Як відзначає Кукта Г.М. [3], машини цієї групи– причіпні і самохідні, забезпечують виконання основного обсягу (до 80%) подрібнення зелених кормів, використовуваних у тваринництві, призначених для штучного сушіння на трав'яне борошно і різку, досушування на вітамінне сіно, закладки на сінаж і силос, а також згодовування в натуральному вигляді або у складі кормових сумішей. Частина зелених кормів додатково подрібнюється на стаціонарних подрібнювачах, в основному для птиці і свиней і в лініях віджиму соку (механічного фракціонування).

На сьогодні в Україні застосовують самохідні КСК-100, ЯСК-170, КСГ-Ф-70, Е-281 і причіпні КПИ-2,4, КПКУ-75, КСС-2,6 кормозбиральні комбайни (таблиця 1.5) та роторні косарки-подрібнювачі КИР-1,5Б, КИР-1,5, ФГ-72 [19] (фірми «Гейл», США).

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики кормозбиральних машин

Параметри	Причіпні			Самохідні	
	КСС- 2,6	КПИ- 2,4	КПКУ- 75	Е-281	КСК- 100
Продуктивність при збиранні кукурудзи, т/ч:	50	30	54	58	90
Окружна швидкість ножів, м/с	35	39	39	39	38
Регулювання довжини різання, мм	8...120	6...160	5...100	4...90	5...100
Потужність, кВт	60	60	110	135	180
Маса, т	3,1	4,3	8,3	8,7	12,9

Найбільш енергоємний робочий орган кормозбирального комбайну – подрібнюючий апарат, найчастіше дискового або барабанного типу. Конструкційно-технологічні схеми зазначених машин подібні між собою. Подрібнюючі робочі органи їх являють собою циліндричні ножові барабани зі змінним числом ножів (від 2 до 8 або 12), що забезпечує регулювання необхідної довжини різання.

Барабанні подрібнюючі апарати широко використовують на кормозбиральних машинах і стаціонарних подрібнювачах. Вони зручні для механізованого заточення ножів без зняття з апарата.

Як відзначається в роботі Дедаєва Г.А. та Отрошко С.А. [20] теоретична довжина різання волокон стебел кукурудзи барабанными і дисковими подрібнюючими пристроями кормозбиральних комбайнів не збігається з практичною. При роботі комбайна стебла через свою переплутаність подаються не строго перпендикулярно лінії їхнього розрізування, у зв'язку з чим вони протаскуються і погано подрібнюються.

Основним робочим органом роторних подрібнювачів зеленої маси є ротор із шарнірно закріпленими ножами. Головною перевагою подрібнюючого апарата такого типу в порівнянні з барабанными і дисковими подрібнювачами є висока надійність і простота конструкції. Саме ця обставина послужила причиною широкого застосування як у нас, так і за кордоном роторних подрібнювачів на косарках для щоденної заготівлі зелених кормів для годівлі тварин і птиці.

Мельніков С.В. стверджує, що стеблову масу краще подрібнювати при організованій подачі в подрібнюючий апарат, тобто в мобільній машині, що зрізує упорядковані стебла на полі. Однак у ряді випадків, наприклад при згодовуванні у великих обсягах свіжих бобових трав птиці, виникає необхідність для більш дрібного подрібнення зеленої маси – до 5 мм, що краще виконувати стаціонарними машинами.

Для стаціонарного подрібнення зеленої маси, силосу й інших соковитих кормів використовуються подрібнювачі [22-25] «Волгарь-5А», ИЗМ-5 і ИС-2 (таблиця 1.6), ИСК-3, ИРМА-15, дробарки КДУ-2 і ДКМ-5, ДКУ-М, ИКБ-1, УДК-Т, пастоприготовлювачі ПГЗ-2, агрегат для приготування кормів АПК-10 і інші машини.

Найбільше поширення для подрібнення зелених кормів одержав подрібнювач «Волгарь-5» (рис 1.4). Він призначений для подрібнення соломи, сіна, зеленої маси, силосу, коренеклубнеплодів. Всі корми можна подрібнювати роздільно, а так само в сумішах у залежності від потреб. У цьому випадку одночасно з подрібненням компоненти змішуються. Машина має три ступені подрібнення – для птиці, свиней і ВРХ.

Подрібнювач кормів «Волгарь-5» складається з рами, транспортера, що подає і натискного транспортера, ріжучого барабана зі спіральними г-образними ножами, шнека, апарата вторинного різання, заточувального пристосування, електродвигуна і пускової апаратури.

Таблиця 1.6 - Технічні характеристики подрібнювачів соковитих кормів

Параметр	«Волгарь-5А»	ИЗМ-5	ИС-2
Продуктивність, т/ч	5	5	1,5-2,0
Число ножів	6	6	—
Потужність електродвигуна, квт	25	14	10
Маса, кг	1175	1060	350
Габаритні розміри барабана, що ріже:			
діаметр, мм	450	540	—
довжина, мм	380	405	
Частота обертання барабана, хв ⁻¹	725	980	—

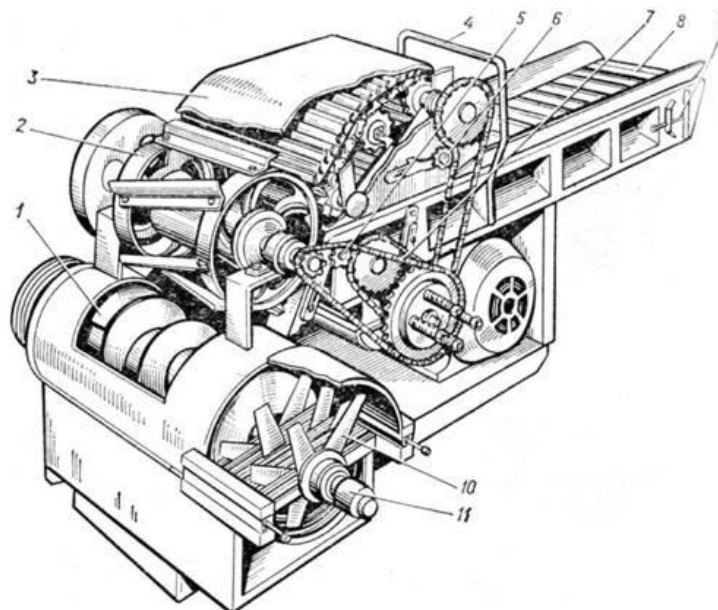


Рисунок 1.4 - Подрібнювач кормів «Волгарь-5»

Перевагами подрібнювача кормів «Волгарь-5» є можливість подрібнення різних видів кормів, порівняно висока продуктивність і якість подрібнення кормів, що задовольняє основним зоотехнічним вимогам.

Силос, зелені і грубі корми подрібнюються на «Волгарі-5» краще, ніж на інших машинах, коренеплоди трохи гірше (велика нерівномірність часток здрібноної маси).

За даними випробувань, проведених в УНДІМЕСГ [24], подрібнювач кормів «Волгарь-5» подрібнює зелені корми на частки довжиною до 30 мм. У подрібненій масі часток цього розміру знаходиться від 87 до 97%, а часток розміром до 20 мм – близько 80%. Такий ступінь подрібнення зелених кормів відповідає вимогам підготовки кормів для свиней, але недостатній для птиці.

До недоліків машини варто віднести складність пристрою, особливо апарата вторинного різання. Це ускладнює експлуатацію машини – відновлення різальної здатності ножів, регулювання зазорів між рухомими і нерухомими ножами.

Дослідженнями Гушчяна А.Г. [26] виявлено, що в процесі тривалої роботи подрібнювача «Волгарь-5» у лінії готування трав'яного борошна якість різання зеленої маси погіршується, причому основним фактором погіршення є зношення ножів подрібнювача.

Модернізований подрібнювач «Волгарь-5А» має продуктивність на 30% вище, ніж «Волгарь-5», за рахунок більш упорядкованої подачі маси при збільшених швидкостях живильних конвеєрів – конвеєра що подає і натискного. На додатковому подрібненні силосу «Волгарь-5А» при продуктивності 6 т/г забезпечує одержання маси в основному часточок довжиною до 30 мм (85-97%).

Універсальна дробарка кормів КДУ-2,0 призначена для дроблення грубих кормів (соломи, сіна, кукурудзи), зелених кормів, коренеплодів, зерна і жмихового шроту. Складається з рами, живильника, дробильного барабана, вентилятора, циклона зі шлюзовим затвором, зернового бункера, електродвигуна з комплектом пускового устаткування. Живильник містить у собі два транспортери – нижній стрічковий і верхній – ланцюгово-планчатий.

Проведений Бобер О.А. [27] аналіз дозволив установити, що з усіх типів подрібнюючих пристроїв найбільш перспективним є подрібнювач з вертикально розташованим робочим органом у сполученні із протирізальними елементами. До таких подрібнювачів, процес подрібнення в яких здійснюється в основному методом ударного різання, відноситься подрібнювач-змішувач ИСК-3 (рисунок 1.5), розроблений ЦНДІМЕСГ [19] Нечорноземної зони СРСР разом з ГЭКИ по машинах для переробки трави і соломи (Вільнюс) на базі подрібнювача-змішувача ИС-30.

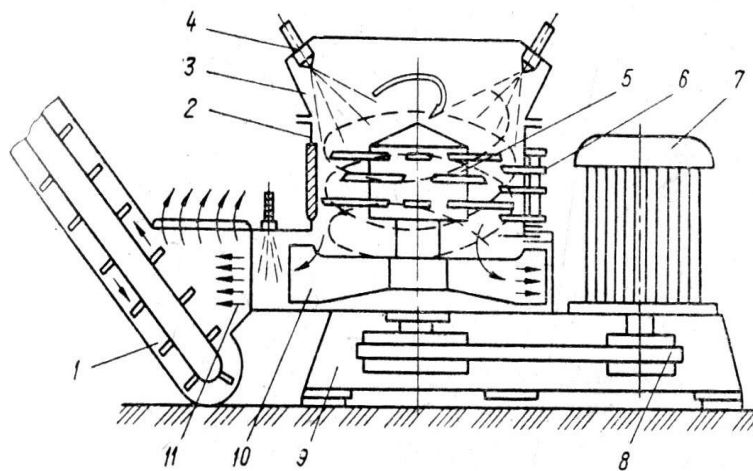


Рисунок 1.5 - Схема подрібнювача-змішувача кормів ИСК-3:

1 – вивантажувальний конвеєр; 2 – робоча камера; 3 – прийомна камера; 4 – форсунка; 5 – ротор з ножами; 6 – протирізальні ножі; 7 – електродвигун; 8 – клинопасова передача; 9 – рама; 10 – швирялка; 11 – вивантажувальна горловина.

Подрібнювач-змішувач кормів ИСК-3 призначений для подрібнення сіна, гілкового корму, соломи будь-якої вологості, а також для доподрібнення і змішування різних компонентів при готуванні розсипних кормосумішей.

Продуктивність подрібнювача ИСК-3 багато в чому залежить від точності дозування маси. При нерівномірній подачі маси горловина подрібнювача часто забивається. Основна перевага цього подрібнювача перед іншими – надійність у роботі, мала чутливість до сторонніх предметів, можливість подрібнювати масу різної вологості.

В роботі Китуна А.В та Передні В.І. [28] приводяться результати аналізу вітчизняних подрібнювачів для подрібнення зелених кормів: універсальних дробарок ДКУ-1,0; КДУ-2,0; універсальних подрібнювачів ИЗМ-5,0; ИКБ-1,0; «Волгарь-5А», з яких останній одержав найбільше поширення. На думку авторів, найбільше повно відповідає поставленим вимогам подрібнювач-змішувач ИСК-3А з невеликими удосконаленнями. Обробка матеріалу у вертикальному потоці дозволяє об'єднати в ньому три операції: завантаження корму, подрібнення і вивантаження готового продукту в транспортний засіб, тобто цілком автоматизувати технологічний процес.

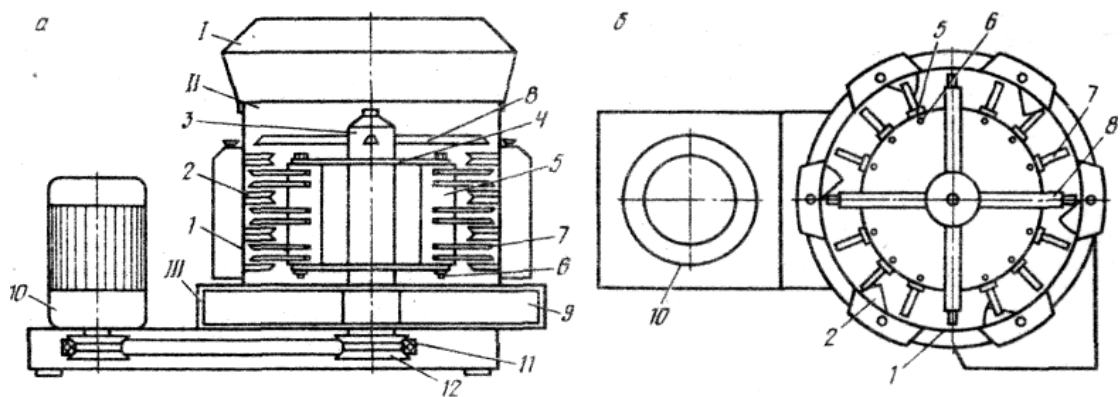


Рисунок 1.6 - Схема подрібнювача стебловихкормів (а), вид зверху (б)

I – приймальня камера; II – робоча камера; III – вивантажувальна камера. 1 – корпус робочої камери; 2 – протирізальні елементи; 3 – ротор подрібнювача, 4 – опорний диск; 5 – державка; 6 – вісь кріплення ножів; 7 – ніж державки; 8 – ніж; 9 – швирылка; 10 – електродвигун; 11 – пасова передача; 12 – шків ротора.

Для більш дрібного подрібнення зеленої маси авторами була запропонована збільшити кількість елементів, що ріжуть, на роторі подрібнювача (рис. 1.6). Інші конструктивні особливості подрібнювача залишені без змін.

Як різальний елемент був обраний ніж молоткового типу з обопільним заточенням його бічних крайок. Довжина його в три рази менше ножа, що йде

в комплекті ИСК-3А. Зменшення довжини ножів дозволило збільшити їх кількість, а отже і число впливів на матеріал, що подрібнюється. Поведені авторами дослідження показали, що модернізований подрібнювач ИСК-3А(Н) забезпечує ступінь подрібнення зеленої маси на корм свиням – 72% часток до 10 мм при питомій енергоємності процесу 2,8квт·ч/т.

Подрібнювач ИРМА-15 призначений для переробки грубих (солома, сіно, кукурудзяні стебла) і соковитих (силос, буряк, трави) кормів, а також приготування кормових сумішей при спільній їхній подачі в подрібнювач. Його застосовують як у технологічних лініях кормоцехів, так і самостійно.

Дробильна камера машини для подрібнення грубих кормів буває закритого або відкритого типу. У першому випадку її обладнують решетом, у другому – решето відсутній. До подрібнювачів закритого типу відносять дробарки КДУ-2, відкритого – ИСК-3, ИРМА-15 і інші.

Стаціонарні соломосилосорізки – один з перших засобів механізації у тваринництві. У свій час випускалося кілька типів соломосилосорізок, у тому числі РСС-6, РСБ-3,5 і інші (таблиця 1.6), однак у даний час вітчизняна промисловість не випускає соломосилосорізок.

У цьому зв'язку становить інтерес соломосилосорізка РСС-6,0Б (рисунок 1.7), розроблена ВНИИЖИВмаш.

Як зазначалося, велику небезпеку в роботі подрібнювачів зелених кормів являє потрапляння сторонніх твердих предметів (каміння, болтів тощо) в камеру подрібнення, що значно знижує надійність подрібнювачів через вихід з ладу ножів. Роботи з дослідження процесів і розробці пристроїв виявлення ферромагнітних домішок у сипучих матеріалах ведуться в Таврійській державній агротехнічній академії під керівництвом д.т.н. професора Просвіріна В.И.

Завдяки послідовному триразовому стисканню шар корму підводиться до ножів у спресованому стані що забезпечує якісне різання стебел. Соломосилосорізка РСС-6,0Б забезпечує подрібнення соломи, що знаходиться в межах зоо-

технічних норм для годівлі великої рогатої худоби. При відповідному налаштуванні соломосилосорізка РСС-6,0Б цілком задовільно подрібнює корми, призначені для свиней, а також для водоплавної птиці.

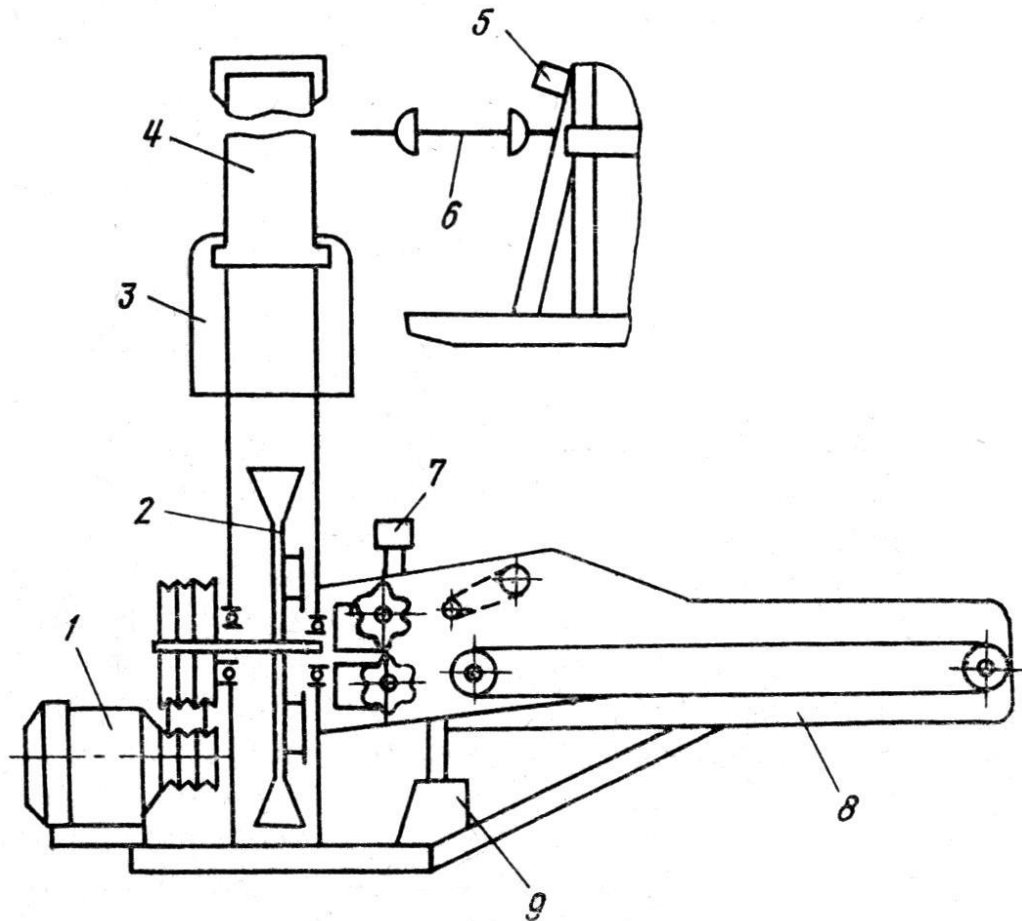


Рисунок 1.7 - Схема соломосилосорізки РСС-6,0Б: 1 – електродвигун; 2 – диск із ножами; 3 – поворотний пристрій; 4 – вивантажувальна труба; 5 – кронштейни для навішення машини на трактор; 6 – карданна передача; 7 – запобіжна дуга; 8 – живильник; 9 – рама.

Становлять інтерес дослідження, проведені Арнаутвим В.І. [21], який, ґрунтуючись на результатах порівняльного аналізу різних принципів дрібного подрібнення соковитих кормів, прийшов до висновку про доцільність застосування принципу ударного різання тонкими сегментними ножами у взаємодії з дрібноребристою декою. Точніше цей принцип можна назвати комбінованим – рубанням з ковзанням при переміщенні матеріалу від одного ребра деки до ін-

шого. У порівнянні з іншими принципами він забезпечує рівномірне дрібне подрібнення усіх видів соковитих кормів при найменшій питомій витраті енергії без забивання маси і видавлювання соку.

Таблиця 1.7 - Технічна характеристика подрібнювачів
грубих і зелених кормів

Показники	Марка машини		
	РСС-6	РСБ-3,5МЧ	подрібнювач ко- рмів ИК-3
Продуктивність при здрібнюванні зеленої маси, т/г:	6,0	1,6-5,8	3,5-4,0
Довжина часток здрібненої маси, мм	6-104	2-20	5-100
Число оборотів головного вала в хвилину	450	500	950-1200
Потужність двигуна, кВт	6-8	2,8	4-7
Максимальна висота підйому здрібненого корму, м	10	–	–
Окружна швидкість ножа, м/с	2-23,5	7,2	25-31,4
Діаметр диска, барабана, мм	1150	280	500
Діаметр приводного шківа, мм	340	400	150-190
Маса, кг	770	350	430
Габаритні розміри, мм			
довжина	2835	1900	1660
ширина	1770	920	920
висота	2000	940	1070
Число обслуговуючого персоналу	3	2-3	2-3

У таблиці 1.8 приведені основні техніко-економічні показники різних подрібнювачів соковитих кормів при подрібненні зеленої маси люцерни за даними Арнаутова В.І.

Таблиця 1.8 - Техніко-економічні показники подрібнювачів соковитих кормів

Найменування і марка машини	Продуктивність, т/ч	Споживана потужність, кВт	Питома енергоємність, вт·ч/т	Маса, кг	Питома металоємність, кг·ч/т	Кількість обслуговуючого персоналу	Питома витрати праці, люд·год/т
Пастоприготовлювач	0,8	10	12,3	402	497	1	1,2
Подрібнювач ИС-2	2,0	10	5,0	595	298	2	1,0
Соломосилосорізка РСБ-3,5МЧ	3,0	4	1,33	245	81,6	3	1,0
Дробарка ДКУ-М (переустановлена)	2,5	14	5,65	717	287	2	0,8
Універсальна дробарка ДКУ-2	3,0	20	6,6	1200	433	2	0,7
Подрібнювач кормів «Волгарь-5»	5,0	20	4,0	1100	220	2	0,4
Роторний подрібнювач із сегментними ножами і дрібноребристою декою (дослідний зразок)	12,0	14	1,22	702	58,5	2	0,2

З таблиці видно, що найбільшу питому енергоємність і найбільшу питому металоємність має пастоприготовлювач Астраханського заводу, що працює за принципом м'ясорубки. Найменшою питомою енергоємністю і найменшою питомою металоємністю володіє роторний подрібнювач із сегментними ножами і дрібноребристою декою. Ці показники свідчать про явну перевагу машин, що працюють за принципом різання лезом. Однак вони не характеризують якості одержуваного подрібненого продукту.

Найбільші виділення і втрати соку виходять при подрібненні соковитих кормів на пастоприготовлювачах, що працюють за принципом м'ясорубки. Трохи менші втрати соку виходять при подрібненні на машинах з молотковими робочими органами (ДКУ-М, УДК-Т і ін.). Подрібнення кормів на подрібнювачі

із сегментними ножами і дрібноребристою декою дає самі малі втрати соку. Це порозумівається тим, що подрібнення корму здійснюється головним чином за рахунок ударного різання сегментними ножами, при якому руйнування клітин рослини відбувається тільки в площині дії різця (сегмента).

З викладеного вище Арнаутов В.І. робить висновок, що найбільш раціональним принципом подрібнення усіх видів соковитих кормів для птиці, є комбінований принцип рубання з ковзанням або принцип ударного різання тонкими ножами у взаємодії з ребристою декою. Конструктивне ж рішення машини, що працює по цьому принципі, може бути різним і повинне відповідати усім вимогам, пропонованим до машини подібного типу.

Окрему групу машин, що працюють за принципом м'ясорубки складають пастоприготовлювачі. Їх відрізняє відносно висока енергоємність процесу подрібнення і великі втрати клітинного соку при подрібненні соковитих кормів.

Різання лезом при найменшій питомій витраті енергії забезпечує подрібнення соковитих кормів з мінімальним виділенням клітинного соку. Що ж стосується розбивання соковитих кормів ударами молотків, то такий принцип неприйнятний, тому що подрібнення відбувається з великим виділенням соку і волокнистої частини корму при найбільшій питомій витраті енергії.

Відомі в даний час асинхронні електродвигуни дають можливість компактно виконати систему привода подрібнювача. Мамєдовим Ф.А. та іншими розроблений електромеханічний подрібнювач грубих кормів, у якому зниження енергоємності процесу, підвищення продуктивності, якості подрібненого продукту досягнуто в результаті сполучення торцевого електродвигуна з подрібнюючим органом. У конструкції подрібнювача передбачена можливість інтенсифікації подрібнення корму підвищеної вологості (більш 25%) за допомогою зміни напрямку обертання (реверса) одного з роторів за допомогою переключення фаз обмотки.

1.3 Показники ефективності процесу подрібнення

Ефективність процесу подрібнення оцінюють двома основними групами показників, що характеризують:

- забезпечення технічних, зоотехнічних або інших вимог до гранулометричного складу та форми подрібненого матеріалу при певній продуктивності;
- порівняльну енергетичну досконалість обраної конструкції.

Використовують також комплексні критерії, що об'єднують в деякий функціонал фізично-визначені показники.

Енергоємність або питомі затрати енергії, як основний критерій практичної доцільності того або іншого засобу подрібнення визначається шляхом безпосереднього виміру споживаної енергії, а ступінь подрібнення λ - відношенням середнього розміру часток вихідного продукту L до середнього значення кінцевого l :

$$\lambda = L/l. \quad (1.3)$$

Для більш об'єктивного порівняння по енерговитратах подрібнювачів стеблових кормів різних типів при різному ступені подрібнення і більш точної оцінки ступеня досконалості робочого процесу автори [34] пропонують використовувати оціночний показник

$$\Xi_{\text{оц}} = \frac{N_{\text{н}}}{Q} \left(1 + a_{\text{кр}} \frac{l_{\text{ср}}}{L} \right). \quad (1.4)$$

Таким чином, щоб оцінити питомі витрати енергії необхідно крім параметрів, що характеризують роботу подрібнювача (потужність $N_{\text{н}}$ і продуктивність Q), і вихідний стан корму (середня довжина L часток неподрібненого корму), одержати характеристики подрібненого корму (частка великої фракції і середня довжина $l_{\text{ср}}$ часток великої фракції).

Для оцінки ефективності процесу подрібнення стеблових кормів і роботи подрібнювача в [22] запропоновано показник якості подрібнення, який визначає затрати енергії при заданій ступені подрібнення, що визначається розмахом фізіологічно обґрунтованих розмірів часток l_0, l_{max} :

$$\eta = \frac{N\sigma_p \sum_{i=1}^l \max G_i}{QS_D \sum_{i=1}^l G_i} \rightarrow \min \quad (1.5)$$

На думку автора цей критерій [56] дозволяє характеризувати процес подрібнення з урахуванням питомої витрати енергії, фракційного складу і ступеня розщеплення часток. Він може бути використаний як при оптимізації процесу подрібнення грубих і соковитих стеблових кормів, так і при порівняльному аналізі робочих органів різних машин для подрібнення кормів.

Грунтуючись на тому, що по теорії Рітінгера робота, яка витрачається на подрібнення матеріалу, пропорційна заново утвореній поверхні, в [57] за показник оптимізації при визначенні відносної енергоємності схеми ріжучого апарату, з урахуванням якості різання запропоновано відношення заново утвореної поверхні S_{BV} до коефіцієнта однорідності різання K :

$$\frac{1}{K} = \frac{\sigma_0}{[\sigma]} \frac{1}{\lambda_{o.ф.}} \cdot 100\% , \quad (1.6)$$

де σ_0 - середнє квадратичне відхилення середньозаданого розміру часток різання, м;

$[\sigma]$ - припустиме відхилення середнього заданого розміру, м;

$\lambda_{o.ф.}$ - ступінь подрібнення визначальної фракції, %.

Заново утворена поверхня, що отримана в результаті подрібнення одного м³ об'єму матеріалу, характеризує питому подрібненість матеріалу (м²/м³):

$$S_{sv} = 0,02V \left(\frac{\lambda_n}{\bar{l}_n} + \frac{\lambda_{o.ф.}}{\bar{l}_{o.ф.}} + \frac{\lambda_n}{\bar{l}_n} - \frac{1}{\bar{L}} \right). \quad (1.7)$$

Заново утворена поверхня, віднесена до одиниці маси фракції (м²/кг) [56]:

$$S_{\text{св}} = 0,02 \frac{G}{\rho} \left(\frac{\lambda_n}{\bar{l}_n} + \frac{\lambda_{\text{o.ф.}}}{\bar{l}_{\text{o.ф.}}} + \frac{\lambda_n}{\bar{l}_n} - \frac{1}{\bar{L}} \right), \quad (1.8)$$

де λ_n , $\lambda_{\text{o.ф.}}$, λ_n - ступінь подрібнення переподрібнених, необхідних і недоподрібненої фракцій, %;

\bar{l}_n , $\bar{l}_{\text{o.ф.}}$, \bar{l}_n - відповідно середня довжина часток, м;

G- маса стебел, кг;

ρ - густина стебел, кг/м³;

\bar{L} - середня довжина стебел, м.

Для вибору схеми ріжучого апарату необхідно установити якість різання і можливу подрібненість матеріалу. Найменше значення показника визначає мінімальну відносну енергоємність ріжучого апарату.

Показник енергоємності подрібнювача визначають за виразом [56]:

$$\frac{1}{K} = \frac{\sigma_0}{[\sigma]} \frac{1}{\lambda_{\text{o.ф.}}} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

Стебла, які подаються до робочих органів подрібнювачів мають хаотичне розташування, при цьому процес руйнування стебел можна розглядати як безупинно стохастичний, що описується імовірно - статистичними методами. Одним із засобів розв'язання цієї задачі є відома задача: «голка Бюфона» [58].

Для подрібнювача ИРМ-50 Надежін А.В. [59], використовуючи задачу «голка Бюфона», виводить формулу для середньозваженого розміру часток:

$$l_{\text{ср.в}} = (\pi l / (2n^p + (\pi l / L) + C)) + d, \quad (1.10)$$

де $l_{\text{ср.в}}$ - середньозважений розмір здрібнених часток, мм;

l - вихідна довжина стебла, мм;

n - кількість протиріжучих елементів, шт;

L - відстань між сікучими площинами, мм;

p, c, d - безрозмірні емпіричні коефіцієнти, які враховують перебивання часток, що знаходяться в польоті.

Для барабанних ріжучих апаратів Резник Н.Е. [5] запропонував робочу формулу для визначення довжини різки:

$$l_{\text{расч}} = 60000 V_{\text{сл}} / n z, \quad (1.11)$$

де $l_{\text{расч}}$ - розрахункова довжина різки, мм;

$V_{\text{сл}}$ - швидкість подачі шару матеріалу, м/с;

n - частота обертання барабана, об/хв.;

z - кількість ножів на барабані.

Проте наведена формула при довільному розташуванні стебел має значну похибку, тому Резніком Н.Ю. було запропоновано коефіцієнт орієнтації, що визначався експериментально. Для силосозбирального комбайна СК-2,6 коефіцієнт орієнтації дорівнює 1,109 [6].

Базуючись на дослідженнях Резніка Н.Ю. по визначенню довжини різки, Дю Ин Ю и Терехов П.З. [60] установили, що стебла можуть розташовуватись під довільним кутом у межах від 0 до 90 градусів до лінії різання і теоретичної довжини різання і визначається за виразом:

$$l_{\text{расч}} = l_{\text{агр}} \sin(1 - \delta) 90, \quad (1.12)$$

де $l_{\text{расч}}$ - розрахункова довжина різки, мм

$l_{\text{агр}}$ - агротехнічна довжина різки, мм;

$\delta = (1 - \alpha) / 90$ - частка необхідної довжини січки до загальної маси стебел, %;

α - кут розташування стебла до лінії різання, град.

Для подрібнювача з рекатером (циліндрична камера з перфорованими отворами) середньозважену довжину часток приблизно можна розрахувати за виразом [6]:

$$l_{\text{ср.в}} = (R \dots 4 / 3R), \quad (1.13)$$

де R - радіус отвору комірки рекатера, мм.

Формула (1.40) справедлива, коли радіус отвору комірки в декілька разів більше розрахункової довжини різки і менше максимальної її довжини.

В дослідженні [61], використовую метод аналізу розмірностей, була отримана формула для визначення довжини різки для дискового відокремлювача:

$$l_p = K(l_n V_n / \beta \omega)^{1/2}, \quad (1.14)$$

де l_p - довжина різки подрібненого стеблового корму, м;

K - коефіцієнт, який визначають експериментально $K=(3...4)$;

l_n - початкова довжина стебел, м;

V_n - подача робочого органу, м/с;

β - кут нахилу робочого органу, рад;

ω - частота обертання робочого органу, s^{-1} ;

В роботі [62] встановлено, що при подрібненні соковитих кормів виділення соку і волокнистої частини стебел пропорційне витратам енергії безпосередньо на подрібнення та ступеню подрібнення.

1.4 Висновки по розділу

Раціональним технологічним рішенням при подрібненні грубих кормів для згодовування є їх подрібнення стаціонарними подрібнювачами безпосередньо перед згодовуванням. Актуальним питанням є дослідити технологічний процес приготування кормів на тваринницькій фермі подрібнювачем стеблових кормів із робочим органом молоткового типу.

2 Теоретичні дослідження молоткової дробарки

2.1. Дослідження руху повітряно-продуктового потоку в камері

При описі руху потоку у вихровій камері виділяють два типи моделей течії: одномірні моделі з тангенціальною швидкістю, яка залежить від радіуса r ; з тангенціальною швидкістю, яка залежить від r і осьової координати z та інтегральні моделі. Розглядаються як ламінарний, так і турбулентні режими течії.

Для опису руху повітряно-продуктового потоку у вихровій камері потрібно завдання такої кількості параметрів, яку неможливо визначити під час експерименту. Тому при описі руху потоку у вихровій камері багато дослідників користувалися заздалегідь заданими функціями. Це призводить до того, що отримані результати мають велику відносну помилку, або рішення відсутнє, також можуть бути отримані моделі з кількома відмінними один від одного рішеннями. Тому необхідне спрощення рівнянь.

Одним із таких спрощень буде одновимірна модель руху потоку у вихровій камері, в якій тангенціальна швидкість залежить тільки від радіуса $v = v(r)$.

Для визначення основних характеристик вихрової камери поставимо наступним принципом: на виході з вихрової камери радіусом R_j встановлюється такий режим течії, при якому для даної витрати Q повний тиск p_n буде мінімальним. За цим принципом для вихрової камери радіусом R_k площею f_b і кутом нахилу $\psi_{вх}$, передбачається, що тангенціальна швидкість від стінки камери до радіуса $r = R_v$ змінюється за потенційним законом $v_r = \text{const}$ і максимальне її значення $v_{\max} = v_k R_k / R_v$ (рис. 2.1).

Приймається, що в точці $r = R_v$ надлишковий тиск і радіальна швидкість дорівнюють нулю, тобто $p = 0$; $i=0$, а осьова швидкість w та повний тиск p_n по радіусу камери постійні. Тоді інтеграл Бернуллі вздовж лінії струму, включаючи точку $r = R_v$, зберігатиметься:

$$p_n = \frac{P}{2} (u^2 + v^2 \max) = \text{const} \quad (2.1)$$

При $v = v(r)$ за рівнянням Нав'є-Стокса слід, що радіальна швидкість $u = u(r)$, а осьова швидкість w , згідно з рівнянням нерозривності, лінійна по осі z . Тому $d^2w/dz^2=0$. Прийmemo спрощення, що рух повітряно-продуктового потоку у вихровій камері подібно до течії в'язкої рідини. Тоді рівняння руху осесиметричної течії повітряно-продуктового потоку набудуть вигляду:

$$u \frac{du}{dr} - \frac{v^2}{r} = - \frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial r} + v \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d(ru)}{dr} \right) \quad (2.2)$$

$$\frac{u}{r} \frac{d(ru)}{dr} = v \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d(ru)}{dr} \right) \quad (2.3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) \quad (2.4)$$

$$\frac{1}{r} \frac{d(ru)}{dr} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

Задамо такі граничні умови:

$$\text{при } r=R_2, u=u_2, v=v_2, w=0, \quad (2.6)$$

$$\text{при } z=0, w_r=0, \quad (2.7)$$

$$\text{при } z=L, w_r=0, \quad (2.8)$$

$$\text{при } r=0, u=v=0. \quad (2.9)$$

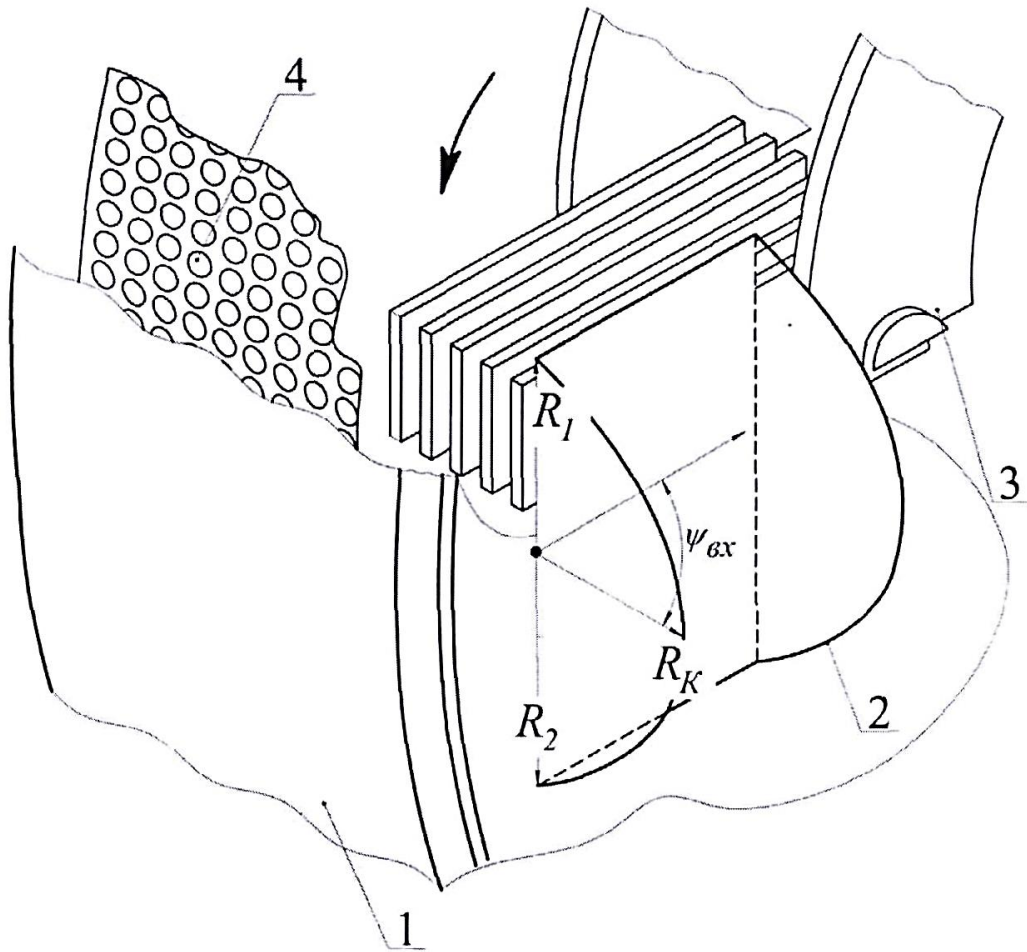


Рисунок 2.1 – Параметри вихрової камери: R_K – радіус вихрової камери; R_1 – радіус виходу з вихрової камери; R_2 – радіус входу в вихрову камеру; 1 - подрібнювальна камера; 2 – вихрова камера; 3 – молотковий ротор; 4 - решето

Таким чином, за співвідношенням (2.6)-(2.9) маємо 7 граничних умов, але відомо, що для вирішення поставленого завдання (2.2)-(2.9) необхідно задати щонайменше 10 граничних умов. Таким чином, поставлене нами завдання на цьому етапі вирішити неможливо, оскільки воно невизначене. Можна подолати дані труднощі при вирішенні цього завдання, використовуючи довільні константи інтегрування, або користуючись будь-якими гіпотезами. Однак, для отримання рішень, що описують дійсний рух потоку у вихровій камері, необхідно задати такі граничні умови, які найбільш повно відображають фізичну сутність процесів що відбуваються у цій задачі. Перейдемо до безрозмірних змінних:

$$\varphi = \frac{vr}{v_1 R_1}, \quad f = \frac{ur}{u_1 R_1}, \quad \bar{p} = \frac{p}{0,5 \rho u_1^2}, \quad y = \left(\frac{r}{R_1} \right)^2, \quad \xi = \frac{z}{L}$$

де u_1, v_1 - значення швидкостей повітряно-продуктового потоку на кордоні вихровий камери при $r = R_1$.

Інтегрування рівняння нерозривності до нових змінних дає

$$w = \left(\frac{2\nu F_1}{R_1^2} \right) z f' = w_{ep} f' \frac{z}{L} \quad (2.10):$$

де F_1 - радіальне число Рейнольдса.

Після переходу до нових змінних, рівняння (2.1)-(2.3) набудуть вигляду:

$$f'' = \frac{F_1}{2y} \left[(f')^2 - f' \left(f + \frac{2}{F_1} \right) - C \right] \quad (2.11)$$

$$\varphi'' = \frac{-F_1 f \varphi'}{2y} \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} = \left(\frac{f}{y} \right)^2 - \frac{2ff'}{y} - \frac{4f''}{F_1} + K_1^2 \left(\frac{\varphi}{y} \right)^2 \quad (2.13)$$

де $K_1 = v_1/|v_1|$ - параметр, що характеризує напрям обертання повітряно-продуктового потоку.

$$C = \frac{AR_1^2}{(4\nu^2 F_1^2)} \quad (2.14)$$

$$A = -\frac{1}{\rho z} \frac{\partial p}{\partial z} = const \quad (2.15)$$

Рівняння (2.15) після інтегрування по r у безрозмірних змінних запишеться у вигляді:

$$\bar{p}(y, \xi) = - \frac{AL^2}{v_i^2} \xi^2 + \bar{p} \quad (2.16)$$

де p - складова тиску, що залежить тільки від y .

Рівняння (2.13) для радіальної складової тиску можна частково проінтегрувати:

$$\bar{p} = \bar{p}_a - \left(\frac{f^2}{y} - \frac{f_a^2}{a} \right) - \frac{4}{F_1} (f - f_a) + K_1^2 \int_a^y \left(\frac{\varphi}{y} \right)^2 dy, \quad (2.17)$$

де p_a, f_a - значення функцій в деякій точці $y = a$.

Після перетворень отримуємо систему диференціальних рівнянь (2.11), (2.12) та інтегральний вираз (2.17). Рівняння руху потоку в вихровій камері (2.11) не залежить від тангенційної швидкості v . Але параметр A (2.15), пов'язаний з величиною тиску через константу C впливає на результат рівняння (2.11). Тому за допомогою рівняння (2.15) можна взаємно узгодити швидкості u та w з тиском p і, згідно з виразом (2.17), через параметр φ , з тангенціальною швидкістю v .

З урахуванням граничної умови (2.8) отримаємо, що у виразі (2.10) змінна $f=0$. Після інтегрування рівняння (2.10) за граничної умови $u(R_1) = u_1$ функція f в периферійній області камери запишеться так:

$$f=1 \text{ при } l \leq y < y_2, \quad (2.18)$$

де $y_2 = (R/R_1)^2$ Згідно з граничною умовою (2.18) із рівняння (2.11) слідує,

що константа $C = 0$, тоді і параметр A дорівнюватиме нулю. Це, згідно рівнянню (2.15) означає, що тиск змінюється тільки за вихровою радіусом камери. Приймавши значення параметра φ постійним рівнянням (2.12) можна проінтегрувати.

Після повторного інтегрування рівняння (2.18) вираз, який визначає відносну циркуляція φ на периферії камери, запишеться в вигляді:

$$\varphi = \varphi_2 - \frac{\varphi'_1}{1 - 0,5F_1} (y_2^{1-0,5F_1} - y^{1-0,5F_1}) \quad (2.20)$$

$$\varphi = \varphi_2 + \varphi'_1 \ln\left(\frac{y}{y_2}\right) \quad (2.21)$$

Отримані рішення для рівнянь (2.2)-(2.9) залежать від параметра m або A , який, своєю чергою, залежить від тангенційної швидкості. Для визначення залежності між радіусом вихрової камери, розмірами її вхідного перерізу та кутом входу повітряно-продуктового потоку скористаємося принципом максимуму витрати, отримуємо наступне рівняння:

$$m_a = \frac{w_{cp}}{v_1} = \frac{\pi^2}{8\sqrt{2} \left(m^3 - \frac{\pi^2 m}{4} \right)} \approx \frac{f_{ex}}{(\pi R_1 R_k \sin \psi_{bp})} \quad (2.22)$$

де R_K - радіус камери;

$f_{вх}$ - розмір вхідного перерізу;

$\psi_{вх}$ - вхідний кут;

$\psi_{вх} = 90^\circ$ - вхід по дотичній;

$\psi_{вх} = 0$ - вхід без закрутки.

Співвідношення (2.22) можна як граничне умова, що дозволяє повністю визначити аналізоване завдання.

За співвідношенням (2.20), (2.21), (2.22) після обробки у програмі Solid Works були отримані профілі та вектори швидкостей повітряного потоку в вихровій камері (рисунок 2.2 а) та профілі тисків у вихровій камері (рисунок 2.2, б).

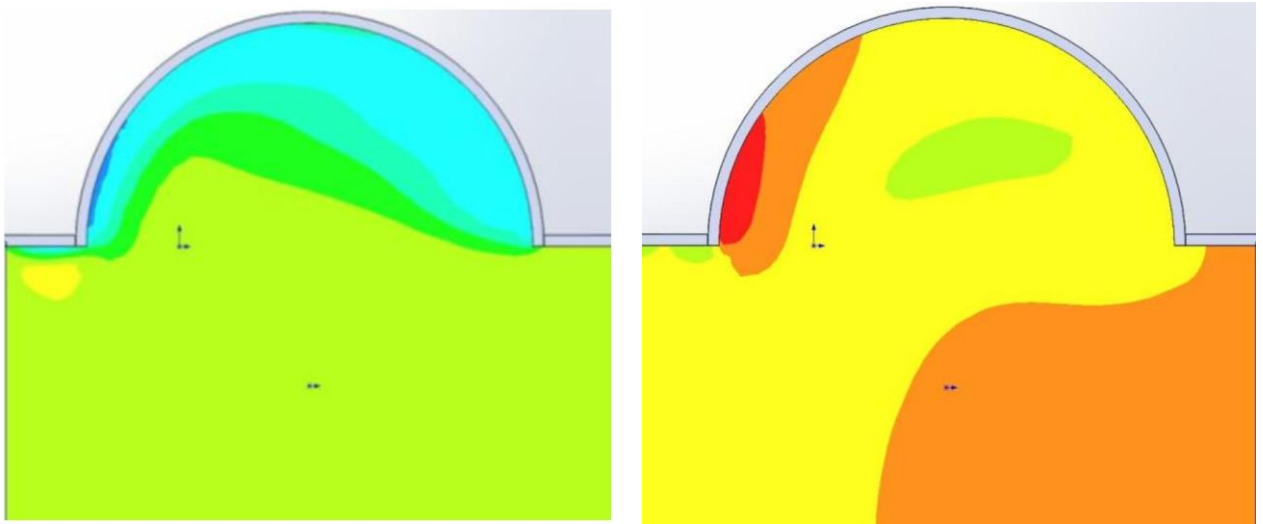


Рисунок 2.2 - Профілі (а) швидкостей повітряного потоку вихровій камері та тиску (б) повітряного потоку у вихровій камері

Згідно з розрахунками швидкість повітряно-продуктового потоку змінюється в межах від 37 м/с (жовта область рис. 2.2) до 16 м/с (блакитна область на рис. 2.2). Тиск у вихровій камері варіюється в межах від 320 Па (червона область на рис. 2.2) до 130 Па (зелена область на рис. 2.2).

2.2. Дослідження швидкості руху частинки по криволінійній поверхні вихрової камери

Розглянемо рух частинки двофазного потоку масою m по стінці вихрової камери. Для визначення швидкості частки розглянемо схему сил, що діють на неї (рис. 2.3).

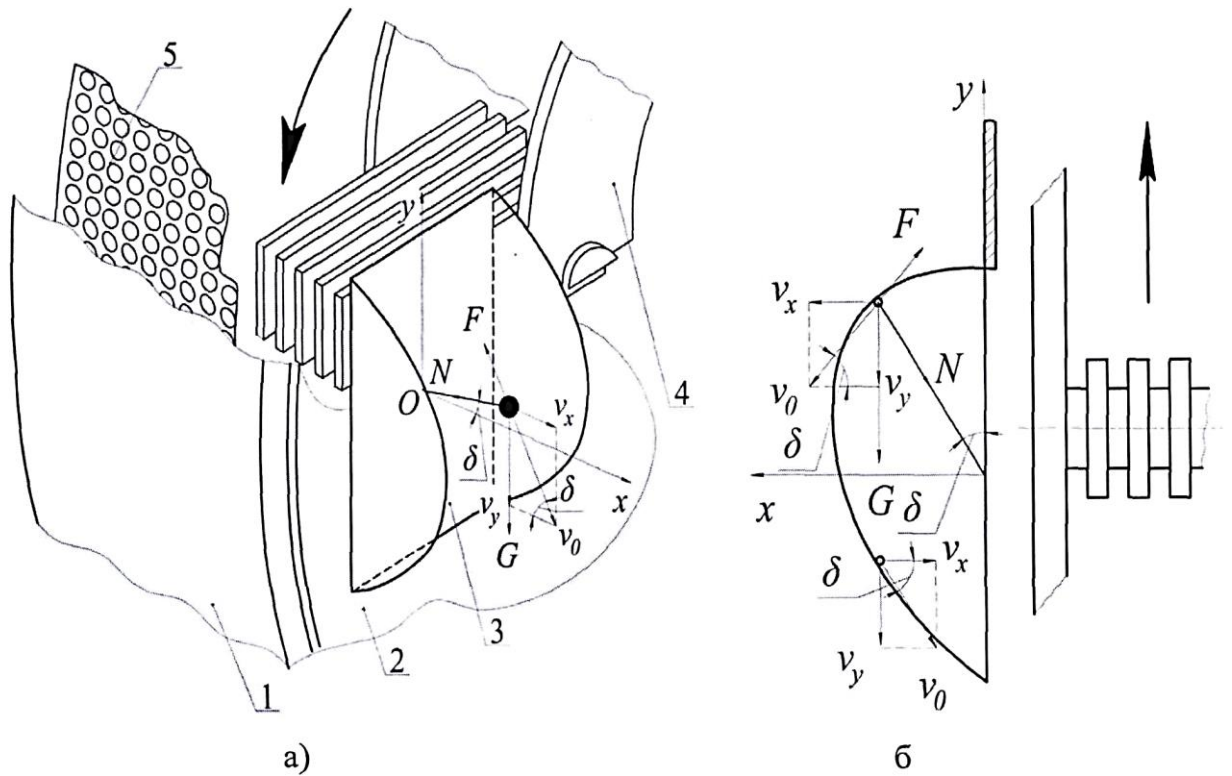


Рисунок 2.3 - Схема сил, що діють на частину двофазного потоку, що рухається у вихровій камері: 1- корпус дробарки; 2 - кришка дробильної камери; 3 - торцева вихрова камера; 4 – молотковий ротор; 5 - решето

Приймаємо такі припущення:

- частка має форму кулі;
- при русі частинки по криволінійній утворювальній вихровій камері відсутня взаємодія між повітрям і об'ємом, що рухається;
- сили тертя несуттєві в порівнянні з іншими силами, які діють елементарний об'єм.

У даному випадку рівняння руху частинки описується відомими рівняннями виду:

$$m \frac{dv}{dt} = -F_{TP} + G \sin \delta \quad (2.23)$$

$$m \frac{v^2}{R} = N + G \cos \delta \quad (2.24)$$

де F_{TP} - сила тертя, що діє на частку;

G – сила тяжіння, що діє на частинку;

δ - кут повороту частинки, що рухається по криволінійній твірній вихрової камери;

N - реакція криволінійної твірної вихрової камери.

Звідси реакція стінки вихрової камери N дорівнюватиме:

$$N = m \frac{v^2}{R} - G \cos \delta \quad (2.25)$$

де R - радіус кривизни вихрової камери.

Сила тертя визначиться з виразу:

$$F_{TP} = \left(m \frac{v^2}{R} - G \cos \delta \right) \cdot f_{mp} \quad (2.26)$$

де f_{TP} - коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні вихрової камери.

Після перетворення рівняння (2.22) перейдемо до нової змінної координаті δ .

$$m \frac{dv}{dt} = -m \frac{v^2}{R} f_{mp} + G \cdot \cos \delta \cdot f_{mp} + G \sin \delta \quad (2.27)$$

Тоді рівняння (2.22) набуде вигляду:

$$\frac{d v}{d \delta} = -f_{mp} \cdot v + \frac{g \cdot R}{v} (f_{mp} \cdot \cos \delta + \sin \delta) \quad (2.28)$$

Для визначення швидкості руху частки розглянемо два випадки:

1 - частка рухається знизу вгору;

2 - частка рухається зверху вниз.

Тоді швидкість частинки, що рухається по криволінійній поверхні вихровий камери, дорівнюватиме:

$$v = \sqrt{\frac{v_0^2}{e^{2f \cdot \delta}} + \frac{2gR}{1+4f^2} \left[(2f^2 - 1) \cdot \cos \delta + 3f \sin \delta - \frac{(2f^2 - 1)}{e^{2f \cdot \delta}} \right]} \quad (2.29)$$

З отриманих виразів видно, що швидкість частки у вихровій камері залежить від її розташування, що визначається кутом δ , радіуса R твірної камери, а також швидкості v_0 , з якою частка потрапляє в камеру.

Можна припустити, що камери, що утворюють вихор з максимальною швидкістю на периферії, а також спрямовують його назустріч потоку будуть найбільш ефективні. Знаючи, що швидкість повітряно-продуктового потоку в області вихрової камери становить близько 35...40% від лінійної швидкості молотків, можна за формулою (2.29) визначити швидкість частки двофазного потоку, що рухається по криволінійній твірній вихрової камери.

Для розрахунків прийнято такі вихідні дані: коефіцієнт тертя $f = 0,15$, початкова швидкість частки $v_0 = 28$ м/с. Аналіз отриманого рівняння (2.29) показав, що для даного випадку частина рівняння, що знаходиться в квадратних дужках, можна замінити на розрахований нами методом накладання графіків емпіричний коефіцієнт $k=f(\delta)$, який спрощує розрахунки та дає 95% збіг результатів у досліджуваній області. На рис 2.5 представлені залежності швидкості v

частинки від швидкості v_0 основного потоку та кута δ повороту повітряно - продуктового потоку в вихровій камері.

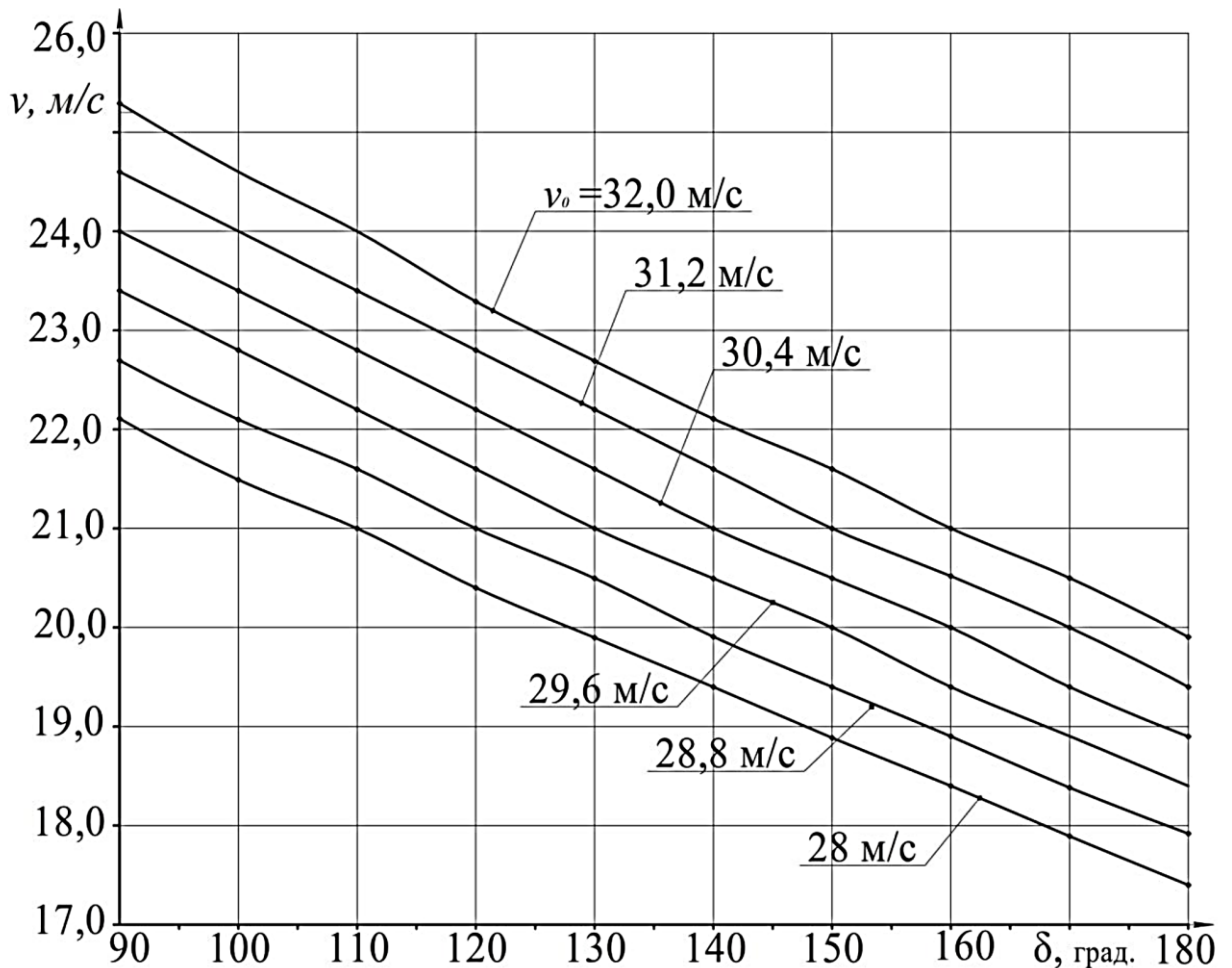


Рисунок 2.5 - Графіки швидкості частинки повітряно-продуктового потоку залежно від величини швидкості v_0 основного потоку та кута між напрямом руху частинки та вектором її осьової швидкості

2.3 Висновки по розділу

1. Отримано аналітичні рішення рівняння Нав'є Стокса для руху повітряно-продуктового потоку у вихровій камері в залежності від радіусу, розміру вхідного перерізу та кута нахилу камери на підставі принципу максимуму витрати.

2. Визначено залежність, що характеризує ступінь закрутки потоку у центральній області камери.

3. Отримані профілі та вектори швидкостей повітряного потоку у вихровій камері та профілі тисків у вихровій камері.

4. Отримано емпіричну залежність швидкості руху частки повітряно-продуктового потоку на виході з вихрової камери від швидкості основного потоку в дробильній камері.

3 Експериментальні дослідження молоткової дробарки

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для вирішення поставлених завдань було розроблено програму експериментальних досліджень:

1. Розробка та створення моделі молоткової дробарки для подрібнення грубих стеблових кормів на другому ступені подрібнення та дослідження основних показників її робочого процесу;
2. Визначення оптимального співвідношення кількості, форми та розмірів вихрових камер, встановлених на торцевій поверхні дробильної камери;
3. Оцінка якісних та кількісних характеристик готового продукту;
4. Оптимізація основних факторів та режимів роботи дробарки стеблових кормів, що дозволяють отримати продукт із заданими якостями при мінімальній питомої енергоємності процесу подрібнення.

3.2 Методика експериментальних досліджень

Для визначення основних параметрів процесу подрібнення стеблових кормів було створено експериментальну установку. Технологічна схема та загальний вигляд експериментальної установки представлені на рисунках 3.1 та 3.2

Дробарка з торцевими вихровими камерами працює наступним чином. Матеріал, що підлягає подрібненню під впливом розрідження, створюваного молотковим ротором 1 і вентилятором 5, потрапляє в дробильну камеру 2, якої внаслідок обертання ротора 1 подрібнюється під ударами молотків та інших робочих органів дробарки. При цьому, рухаючись по колу, він потрапляє в торцеві вихрові камери 3 і периферійну вихрову камеру 7, проходить вздовж стінок і повертається в дробильну камеру

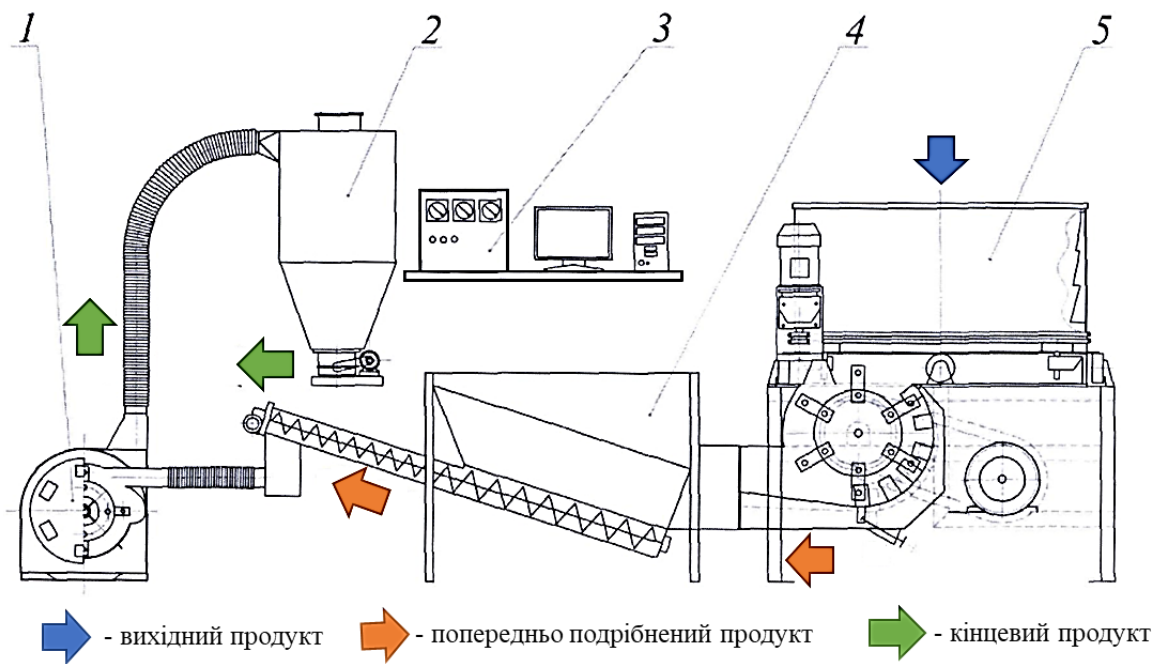


Рисунок 3.1 – Технологічна схема експериментальної установки: 1 - дробарка; 2 – циклон; 3 – контрольно-вимірвальна апаратура; 4 - перехідник - розвантажувач; 5 - подрібнювач рулонів



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки

Була запропонована конструкція молоткової дробарки, що містить торцеві та периферійну вихрові камери, з тангенціальним завантаженням матеріалу (рис. 3.3). При цьому вектор швидкості матеріалу не співпадатиме з векторами швидкостей молотків, отже, відносна швидкість зіткнення частинок матеріалу та робітників елементів дробарки зростає в порівнянні з дробаркою, що не має вихрових камер, що інтенсифікує процес подрібнення та підвищує рівномірність готового продукту.

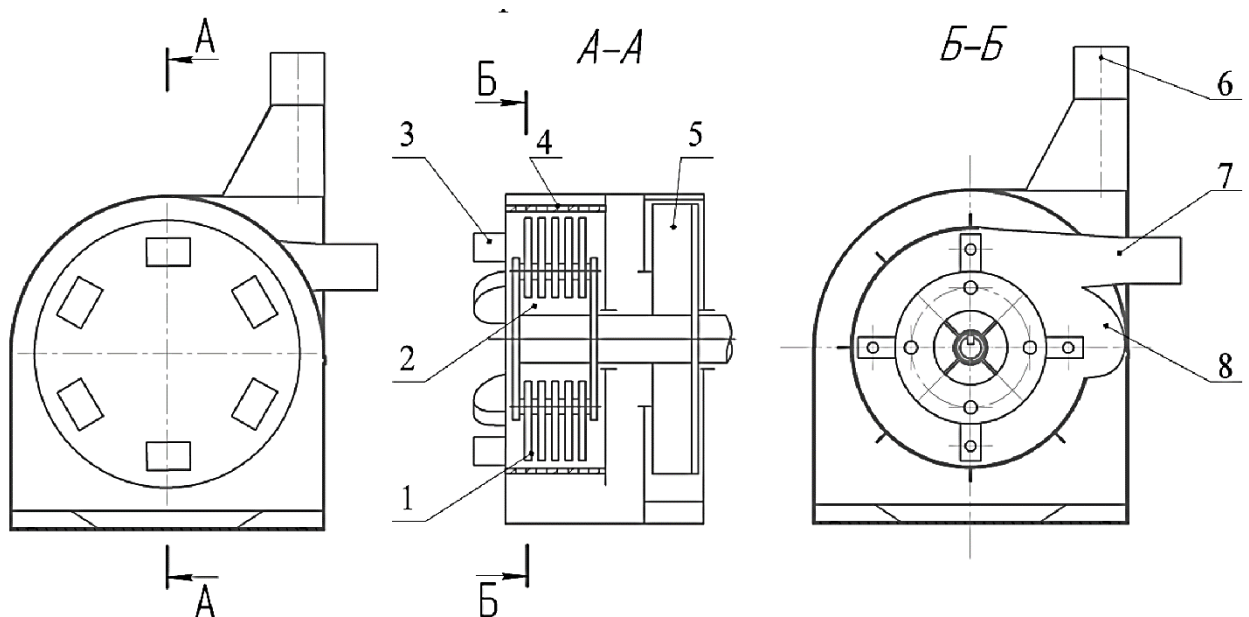


Рисунок 3.3 - Конструктивна схема експериментальної дробарки з торцевими та периферійними вихровими камерами: 1 - молотковий ротор; 2 – дробильна камера; 3 - торцеві вихрові камери; 4 – решето; 5 – вентилятор; 6 – вихідний патрубок; 7 - завантажувальна горловина; 8 - периферійна вихрова камера

На всіх етапах досліджень проводилося порівняння результатів отриманих на варіанті дробарки ДКР-3 З

Як головні показники процесу подрібнення використовувалися енергоємність, пропускна здатність дробарки та рівномірність гранулометричного складу готового продукту. Для визначення ефективної P_e та корисної $P_{кор}$ потужності на валу дробарки використовували такі формули:

$$P_E = P \cdot \eta_{PX} \quad (3.1)$$

$$P_{кор} = P \cdot \eta_{PX} - P_{XX} \cdot \eta_{XX} , \quad (3.2)$$

де η_{PX} , η_{XX} - ККД електродвигуна при робочому і холостому ході дробарки;

P_{XX} - потужність на валу електродвигуна при холостому ході дробарки, кВт.

Питомі енергетичні витрати, співвіднесені з масою подрібненого продукту визначали за формулами:

$$q_e = P_e / Q; \quad (3.3)$$

$$q_k = P_{кор} / Q, \quad (3.4.)$$

де q_e , q_k - питомі витрати ефективної та корисної потужності, кВт-год/т;
 Q - пропускна здатність дробарки, т/год.

Питомі енергетичні витрати, співвіднесені зі ступенем подрібнення, визначали за формулами:

$$E = q_e / \lambda, \quad (3.5)$$

$$E_k = q_k / \lambda, \quad (3.6)$$

де E , E_k - питома енергоємність з урахуванням ступеня подрібнення, кВт-год/(т.од.ст.подр);

λ – ступінь подрібнення матеріалу. Пропускна здатність дробарки визначалася за допомогою відбору проб подрібненого продукту за певний проміжок часу, отриманого в процесі роботи дробарки в режимі, що встановився. Пробу

зважували з точністю до 0,1 г. Пропускнну здатність дробарки визначали за формулою:

$$Q = 3,6 G/T, \quad (3.7)$$

де G – маса проби, кг;

T – час відбору проби, с.

Ступінь подрібнення визначається за формулою:

$$\lambda = D_{\text{екв}} / d_{\text{сер}}, \quad (3.8)$$

де $D_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр частинки, мм;

$d_{\text{сер}}$ - середньозважений розмір частинок готового продукту (модуль помелу), мм.

Відносну вологість соломи визначали згідно з існуючою методикою ДСТУ 13496-80. Комбікорми, сировина. Методи визначення вологості.

Дослідження процесу подрібнення молотковою дробаркою проводилося на солоні пшениці сорту «Комерційна». На початку кожної серії дослідів проводився контрольний вимір вологості. Зразки визначення вологості брали по відомою методикою. Вологість визначали шляхом термосушіння зразків у сушильній шафі.

Величину вологості визначали за формулою:

$$W = (m_m - m_i) / m_m, \quad (3.9)$$

де m_m - маса матеріалу до сушіння, кг;

m_i – маса матеріалу після сушіння, кг.

Для отримання об'єктивних результатів проба для аналізу відбиралася так, щоб у ній можна було оцінити параметри всієї партії матеріалу. Для цього відбір середньої проби проводився не менше ніж у 5 різних місцях у кожній

партії готового продукту. Матеріали з кожної виїмки ретельно перемішувалися для отримання середньої проби, при цьому здійснювався контроль наявності домішок. З перемішаної маси не менше ніж у 5 різних місцях відбирали близько 0,2 кг продукту і поміщали в поліетиленовий мішок, з етикеткою.

Дробарку випробовували на грубих кормах вологістю від 9,2% до 34,2%. Гранулометричний склад подрібненої соломи визначали в триразовій повторності шляхом просіву на класифікаторі 0,1 кг соломи, відібраної з різних місць проби, і поміщали в поліетиленовий пакет з номером повторності.

Середній розмір частинок визначали з відносини маси та розміру частинок, що залишилися на окремо взятому сеті класифікатора, до загальної маси проби. Довжину частинок готового продукту вимірювали похибкою до 0,5 мм. Ступінь подрібнення частинок продукту визначали за такою формулою

$$\lambda = L_{\text{cp}} / l_{\text{cp}}, \quad (3.10)$$

де - Середньозважена довжина частинок до подрібнення, мм; l_{cp} - середньозважена довжина частинок після подрібнення, мм.

3.3 Результати досліджень

На даний момент на ринку машин для подрібнення сухих стеблових матеріалів відсутня пропозиція компактної, енергоефективної дробарки, що дозволяє отримувати продукт із довжиною частинок 1...5 мм. Однак, попит на лінії приготування комбікормів та лінії гранулювання стеблових матеріалів, у склад яких входить дробарка для подрібнення стеблових матеріалів необхідність у створенні таких дробарок, або вдосконаленні вже існуючих моделей для вирішення вищезазначених цілей.

На сьогоднішній день поруч підприємств нашої країни та ближнього зарубіжжя освоєно випуск молоткових дробарок з пневматичним завантаженням

вивантаженням матеріалу. Одним із прикладів такої дробарки може бути дробарка фуражного зерна ДКР – 3. Ця дробарка на сьогоднішній день є наймасовішою дробаркою, що використовується у сільськогосподарських підприємствах у складі комбикормових агрегатів. Що послужило однією з основних причин, через яку дробарка ДКР - 3 була прийнята за прототип розробки дробарки для подрібнення стеблових кормів.

Дробарка має у своєму складі вентилятор, який за рахунок створюваного їм розрідження повітря, дозволяє здійснювати забір подрібнюваних матеріалів без додаткових завантажувальних пристроїв. Це значною мірою знижує металомісткість конструкції та трудомісткість обслуговування, що, зрештою результату, зменшує собівартість готової продукції. Метою попередніх досліджень було визначення показників процесу подрібнення стеблових кормів у вихідному варіанті дробарки Д К Р - 3.

Досліди проводилися на грубих кормах попередньо подрібнених у бункерному подрібнювачі рулонів ІРР-1. У ДКР-3 завантаження матеріалу здійснюється в центр дробильної камери, що не є оптимальним при подрібненні стеблових кормів. Експерименти показали незадовільні результати. Стійка робота дробарки тривала не більше 1,5 - 3 хвилин, в залежності від вологості вихідного продукту (вологість варіювалася від 10,5 до 14,7%). Відбувалося швидке забивання недоподрібненим матеріалом міжлопаткового і міжмолоткового простору після чого надходження матеріалу в дробарку зупинялося.

Максимальна досягнута продуктивність становила 326 кг/год, при цьому середньозважений розмір частинок готового продукту становить 17 мм. Відповідно до поставленої мети та завдань досліджень такі результати не можна визнати позитивними.

При даній схемі подачі матеріалу дробарка показала стійку роботу. Тому всі подальші дослідження з подрібнення стеблових матеріалів проводилися з дробаркою, що має тангенціальне завантаження вихідного продукту.

На основі аналізу технічних рішень та відповідно до теоретичних передумов запропонована конструкція дробарки з вихровими камерами на торцевій поверхні та периферії дробильної камери

Досліджувалися різні форми торцевих вихрових камер (рисунок 3.4, а, б, в). Вихрові камери мали утворюючу у вигляді півкола (при цьому радіус змінювався в межах від 50 до 80 мм), у вигляді архімедової спіралі та у вигляді косої строфоїди різних геометричних розмірів.

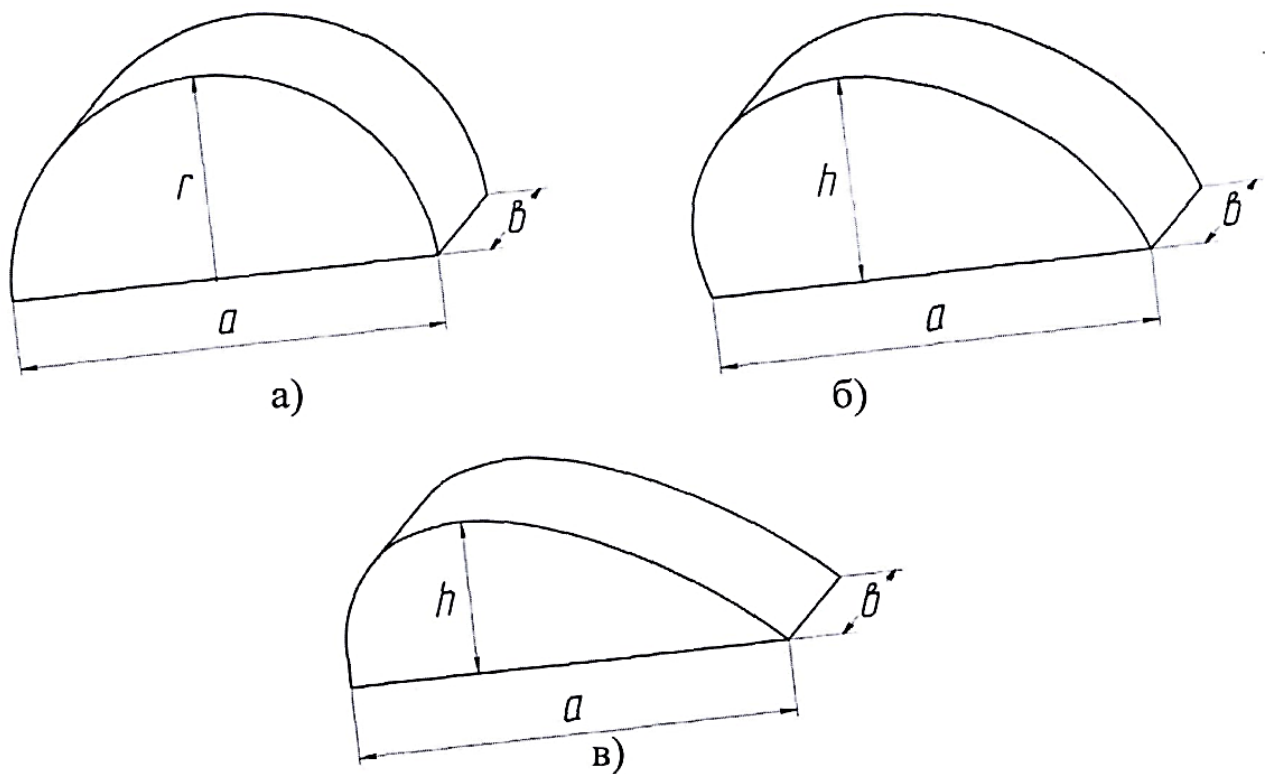


Рисунок 3.4 - Форми торцевих вихрових камер: а) із твірною у вигляді півкола; б) з твірною у вигляді архімедової спіралі; в) з твірною у вигляді косої строфоїди

У вихрових камер у формі косої строфоїди досліджувалися довжина основи L і максимальна висота вихрової камери H . При цьому висота H у вихрових камер даної форми змінювалася за рахунок варіювання кута нахилу лінії побудови.

Проведено експерименти з оцінки повітряного режиму дробарки з відгуком по ККД, витраті повітря та тиску, отримані аеродинамічні показники. Максимальний коефіцієнт корисної дії спільної роботи молоткового ротора та вентилятора дорівнює 16 - 18 % і досягається при витраті повітря від 900 до 1080 м³/год. При цьому потужність на привід становить від 3,5 до 4,0 кВт.

З отриманих залежностей видно, що коефіцієнт корисної дії дробарок з різним поєднанням торцевих вихрових камер на 5... 18% перевершує цей параметр ДКР-3. З метою визначення впливу торцевих вихрових камер на повітряний потік у дробильній камері проведено три серії дослідів. Як критерії оптимізації обрано показники радіальної та тангенційної складових сумарної швидкості повітряного потоку в подрібнювальній камері.

Відомо, що у процесі подрібнення необхідно своєчасно видаляти з дробильної камери частинки, що досягли необхідного розміру. Дуже важливо, щоб величина радіальної складової сумарної швидкості повітряного потоку в дробильній камері була достатньою для подолання частинками опору повітря, що рухається по колу продуктового потоку. Відповідно до теоретичних передумов вихрові камери, встановлені на торцевій та периферійних частинах дробильної камери, за рахунок утворення локальних вихорів повинні уповільнити тангенціальну складову сумарної швидкості повітряного потоку в дробильній камері і, відповідно, збільшити радіальну.

Тангенційну складову сумарної швидкості заміряли безпосередньо під решетом і на відстані 20 мм від решета у напрямку до центру дробильної камери (нижня точка виміру визначалася максимальним вильотом молотків ротора). Радіальну складову сумарної швидкості заміряли над решетом та на відстані 5 мм від решета в напрямку від центру дробильної камери (при розташування трубки вище 5 мм чутливості вимірювальної апаратури було недостатньо для встановлення достовірних даних).

Заміри проводились у трьох точках дробильної камери через 45 °. Випробувалася дробарка з торцевими вихровими камерами у формі півкола. Факторами служили: x_1 - кількість вихрових камер 2, 4 та 6 штук; x_2 – радіус вихрової камери 50, 65, 80 мм.

Результати експериментів представлені моделями регресії (3.11) та (4.12), на рис. 3.6

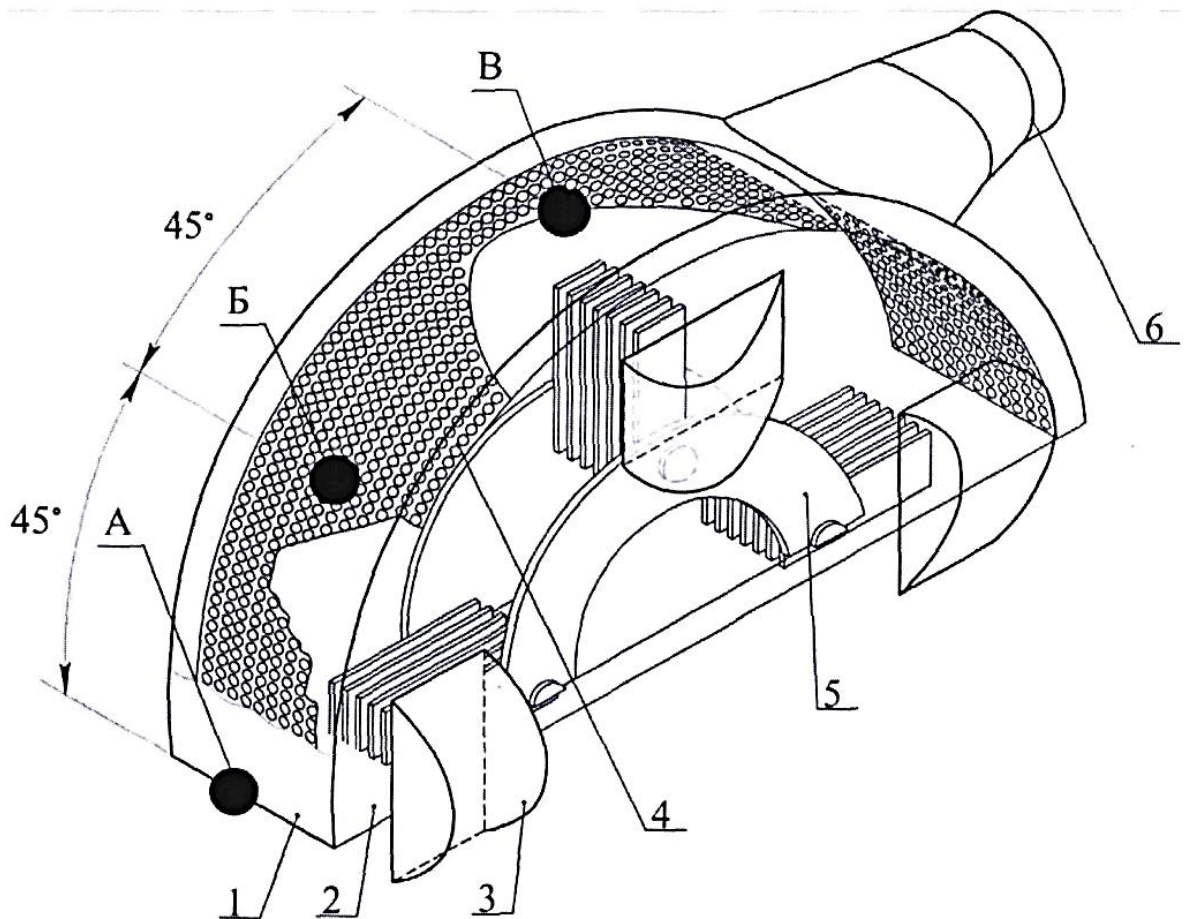


Рисунок 3.5 -Фрагмент дробарки: А, Б, В - точки вимірювання тиску дробильної камери; 1-корпус дробарки; 2-кришка дробильної камери; 3-вихрова камера; 4- решето; 5 молотковий ротор; 6- завантажувальний патрубок

$$Y_1 = 3,28 + 0,45 \cdot x_1 + 0,29 \cdot x_2; \quad (3.11)$$

$$Y_2 = 21,4 - 0,38 \cdot x_1 - 0,19 \cdot x_2 + 0,24 \cdot x_2^2. \quad (3.12)$$

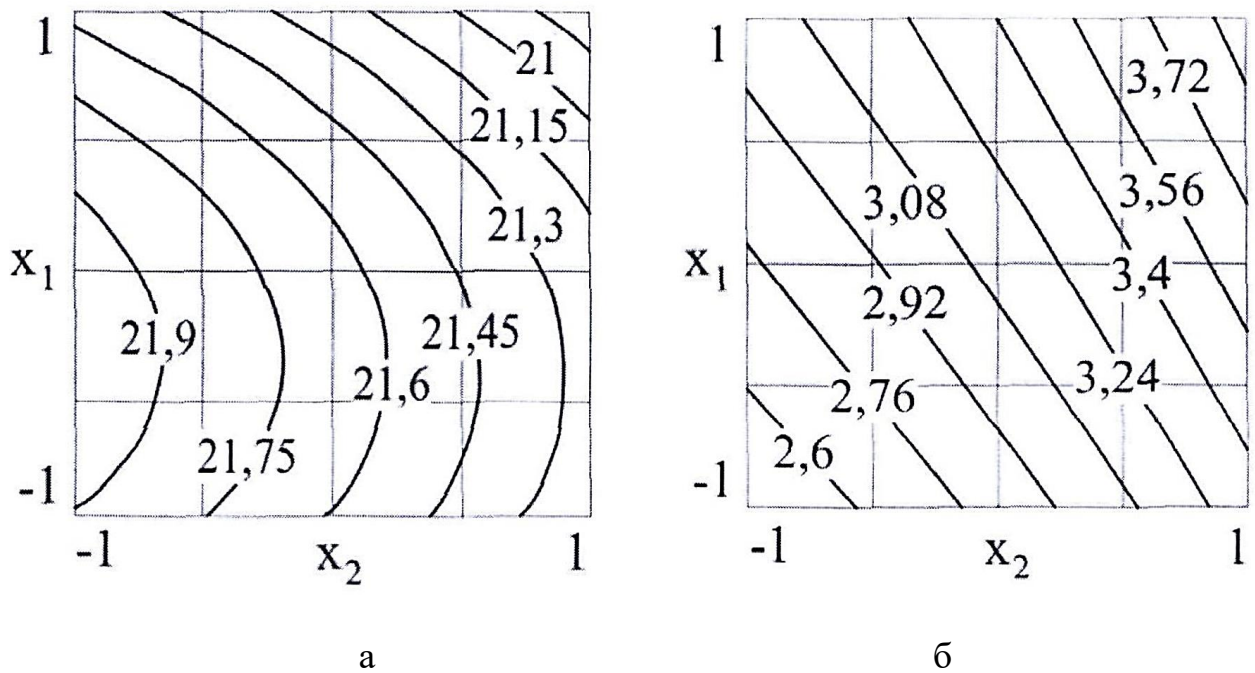


Рисунок 3.6 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують вплив досліджуваних факторів на швидкість повітряного потоку в дробильній камері: а) тангенційної швидкості; б) радіальної швидкості

Аналіз моделі регресії, що характеризує радіальну швидкість повітряного потоку в дробильній камері показав не значущість поєднань і других ступенів досліджуваних чинників. При цьому зі зростанням кількості вихрових камер від 2 до 6 і збільшенням радіусу утворює вихрової камери від 50 до 80 мм, радіальна швидкість змінювалася від 2,54 до 4,20 м/с. Це вказує на те, що збільшення кількості вихрових камер та їх геометричних розмірів загальмовує повітряний потік усередині дробильної камери.

Аналіз моделі регресії, що характеризує тангенціальну швидкість повітряного потоку в дробильній камері, показав не значущість поєднань факторів та другого ступеня фактора x_1 . У цьому члени регресії x_1 і x_2 мають знак мінус, що вказує на зниження тангенціальної швидкості зі збільшенням кількості вихрових камер і радіусу утворювальної вихрової камери. Виходячи з отриманих даних, можна зробити наступний висновок: збільшення радіальної складової сумарної швидкості, яка безпосередньо впливає на евакуацію готового продукту

кту з дробильної камери, необхідно збільшувати кількість вихрових камер форми півкола. При цьому камери мають бути максимального розміру. Обмеженням є лише геометричні розміри дробарки.

У наступній серії дослідів реалізована матриця плану експерименту 2^3 , якої випробовувалась дробарка з торцевими вихровими камерами у вигляді косої строфоїди. Факторами служили: x_1 - кількість вихрових камер 4 і 6 штук; x_2 - кут нахилу лінії побудови 10 і 30° і x_3 - довжина твірних вихрової камери 100 та 140 мм.

Результати експериментів представлені моделями регресії (3.13) та (3.14).

$$Y_1 = 4,03 + 0,16x_1 + 0,33x_2 + 0,35x_3; \quad (3.13)$$

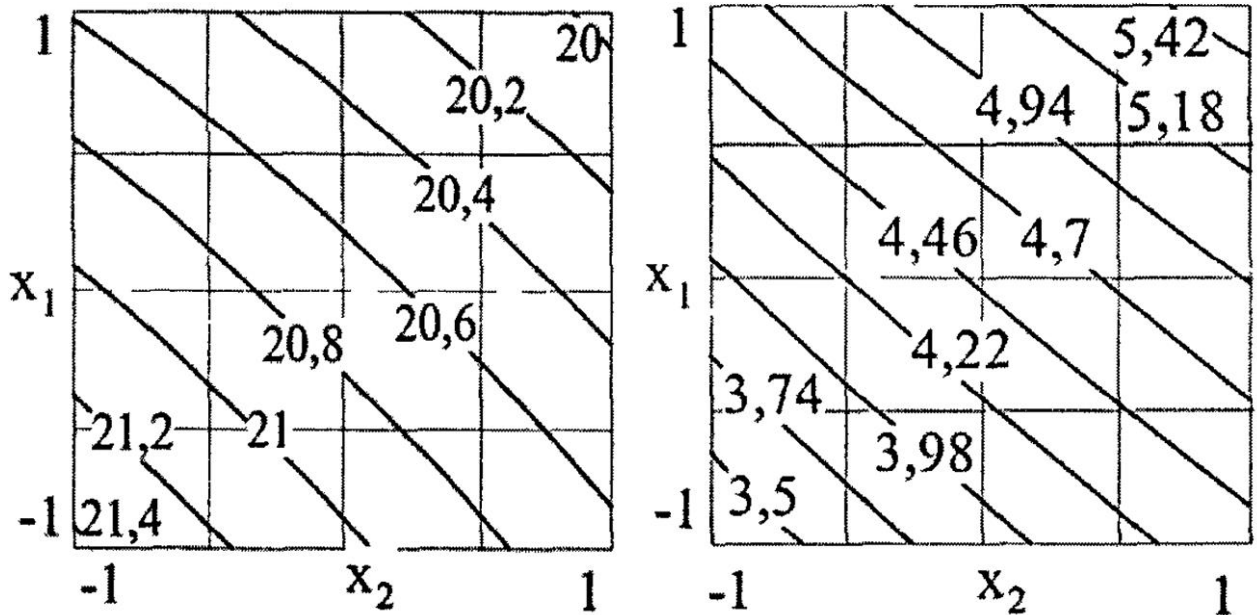
$$Y_2 = 20,41 - 0,21x_1 - 0,33x_2 - 0,59x_3. \quad (3.14)$$

Аналіз моделей регресії та двовимірних перерізів, отриманих у другій серії експериментів показав результати, що узгоджуються з попереднім дослідом. Максимальна кількість вихрових камер з максимальними геометричними розмірами (в даному досліді 6 вихрових камер з кутом нахилу лінії побудови 30° і довжиною основи 140 мм) показало наступні результати - тангенціальна швидкість знизилася до $19,14$ а радіальна збільшилася до $4,8$ м/с. Тобто збільшення радіальної швидкості становило 14% порівняно з попереднім дослідом.

У наступній серії дослідів вивчався вплив торцевих вихрових камер у формі косої строфоїди. Чинник x_1 - ширина основи вихрової камери 40 , 60 та 80 мм, x_2 - кількість вихрових камер 4 , 6 та 8 штук. Результати представлені на рис. 3.7.

$$Y_1 = 4,74 + 0,51x_1 + 0,61x_2; \quad (3.15)$$

$$Y_2 = 19,29 - 0,42x_1 - 0,45x_2. \quad (3.16)$$



Малюнок 3.7 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують вплив досліджуваних факторів на швидкість повітряного потоку в дробильній камері: а) тангенційної швидкості; б) радіальної швидкості

Аналіз моделей регресії та двовимірних перерізів показав зниження тангенціальної швидкості до 18,42 м/с та збільшення радіальної до 5,74 м/с при експеримент з дробаркою має 8 вихрових камер з шириною основи 80 мм. Отримані результати підтверджують гіпотезу, що локальні вихори істотно змінюють характер повітряного режиму в дробильній камері, однак вони не відображають характеру руху потоку в самій камері.

Далі вивчався вплив наступних факторів на роботу дробарки: кількість торцевих вихрових камер – x_1 (чотири та шість вихрових камер), довжина основи вихрової камери - x_2 (100 і 140 мм), кут нахилу лінії побудови косої строфоїди, що впливають на висоту камери – x_3 (10 і 30°) і положення периферійної вихрової камери - x_4 (- 1) - нижче вхідного патрубка, дивлячись ходу руху матеріалу та (+ 1) - вище вхідного патрубка, дивлячись по ходу руху матеріалу.

Як критерії оптимізації вибрано такі характеристики робочого процесу дробарки: Y_1 - середньозважений розмір, мм; Y_2 - ступінь подрібнення; Y_3 - пропускна здатність, кг/год; Y_4 - питома енергоємність, кВт-год/кг.

За результатами експериментів отримано такі моделі регресії:

$$Y_1 = 4,33 + 0,03x_1 + 0,10x_2 + 0,02x_3 - 0,14x_4; \quad (3.15)$$

$$Y_2 = 9,34 - 0,10x_1 - 0,10x_2 - 0,04x_3 + 0,32x_4; \quad (3.16)$$

$$Y_3 = 1422,94 + 6,10x_1 + 11,81x_2 + 6,81x_3 + 5,6x_4; \quad (3.17)$$

$$Y_4 = 1,13 - 0,03x_1 - 0,02x_2 - 0,02x_4. \quad (3.18)$$

Аналіз моделей регресії показав, що спільне застосування торцевих вихрових камер та периферійної вихрової камери підвищує показники робітника процесу дробарки. Порівняння дробарки тільки з периферійною вихровою камерою по показнику питомої енергоємності та дробарки, що поєднує обидва види камер (6 торцевих вихрових камер з довжиною основи 140 мм, кутом нахилу лінії 30° і периферійну вихрову камеру нижче вхідного патрубку, повернену великим радіусом кривизни до повітряно - продуктового потоку, що набігає показало, що питома енергоємність у першого варіанта склала 1,39, а у другого 1,09 кВт-год/т. Зниження енергоємності на 27,5% відбулося внаслідок збільшення пропускної спроможності від 1220 до 1501 кг/год.

У ході наступного етапу експериментів, що має на меті оптимізувати показники робочого процесу дробарки, реалізовано матрицю плану експерименту 3². Середня вологість вихідного продукту становила 17,8%. Досліджувався вплив наступних факторів на робочий процес дробарки: довжина утворюючої торцевої вихрової камери – x₁ (40, 60 та 80 мм); форма робочої поверхні молотка (молоток з однією, двома та трьома гранями - x₂ середньозважений розмір часток попередньо подрібненого матеріалу, що надходить у подрібнювальну камеру – x₃ (20, 25 і 30 мм).

Середньозважений розмір частинок матеріалу, що подається, варіювали при за допомогою зміни довжини контрмолотків, встановлених у дробильній

камері подрібнювача рулонів та їх поєднанням; кількість попередньо подрібненого матеріалу, що надходить у подрібнювальну камеру - x_4 (400, 600 та 800 кг/год).

В якості функцій відгуку вибрано такі критерії: середньозважений розмір – Y_1 , ступінь подрібнення - Y_2 та питома енергоємність процесу подрібнення – Y_3 .

$$Y_1 = 4,22 - 0,40x_1 + 1,10x_2 - 0,28x_4 + 0,17x_1^2 - 0,8x_3^2 + 0,15x_4^2; \quad (3.19)$$

$$Y_2 = 6,14 - 0,63x_1 - 0,57x_2 - 0,17x_4 - 0,22x_1^2 - 0,84x_3^2 - 0,24x_3x_4; \quad (3.20)$$

$$Y_3 = 3,26 + 0,51x_3 - 1,78x_4 - 0,21x_1^2 - 0,28x_2x_4 + 0,42x_3^2. \quad (3.21)$$

Проаналізувавши залежність питомих енерговитрат на одиницю ступеня подрібнення Y_2 та вміст у готовому продукті частинок із середньозваженим розміром менше 4,5 мм Y_1 , від досліджуваних факторів, було зроблено висновок, що мінімальні питомі енерговитрати отримані при подачі матеріалу 600 кг/год, середньозваженому розмірі частинок вихідного матеріалу 22 мм та довжині твірної торцевої вихрової камери 55 мм.

Для подальшого зменшення питомих енерговитрат на одиницю ступеня подрібнення необхідно збільшувати подачу матеріалу (збільшувати значення фактора x_4) та довжину утворюючої торцевої вихрової камери (збільшувати значення фактора x_1), але при цьому середньозважений розмір частинок менше 4,5 мм у готовому продукті буде збільшуватися, а показники факторів x_4 та x_1 вже близькі до граничних значень. При збільшенні довжини утворюючої торцевої вихрової камери до 80 мм при подачі 800 кг/год отримали у готовому продукті кількість часток завдовжки більше 4,5 мм на 42% більше, ніж за 60 мм і подачі 600 кг/год. Змінюючи подачу, довжину утворюючої торцевої вихрової камери, середньозважений розмір частинок вихідного матеріалу можна варіювати довжину частинок готового продукту. Оптимальні значення досліджуваних факторів були визначені і по моделям регресії другого порядку.

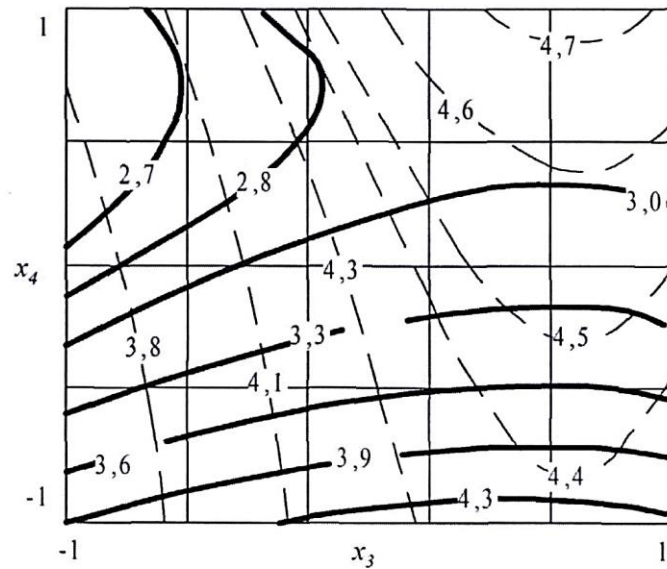


Рисунок 3.8 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують залежність питомих енерговитрат Y_3 (—) і середньозваженого розміру частинок готового продукту Y_1 , (---) від: подачі x_4 та середньозваженого розміру частинок вихідного матеріалу x_3 при $x_1 = 0$ і $x_2 = 0$

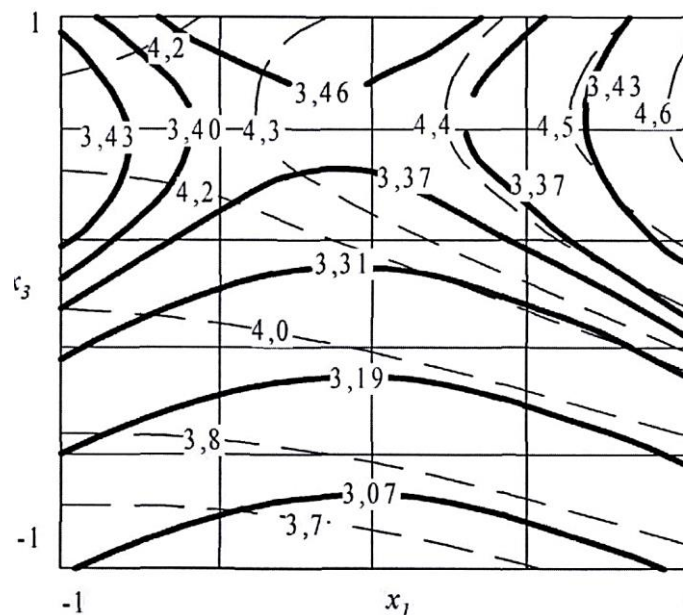


Рисунок 3.9 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують залежність питомих енерговитрат Y_3 (—) і середньозваженого розміру частинок готового продукту Y_1 , (---) від: довжини твірної торцевої вихрової камери x_1 та середньозваженого розміру частинок вихідного матеріалу x_3 при $x_4 = 0$ та $x_2 = 0$

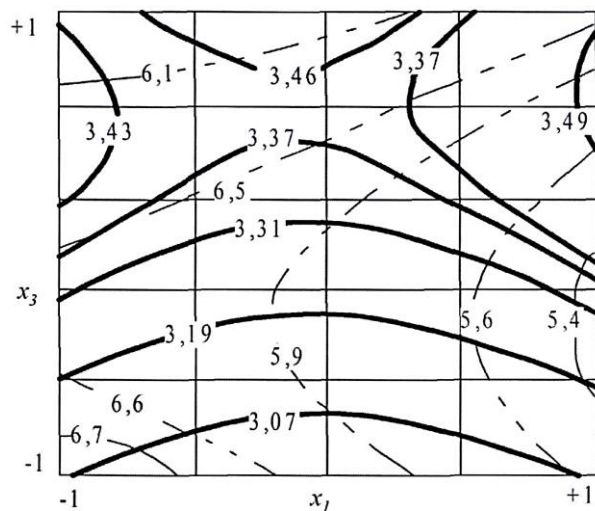
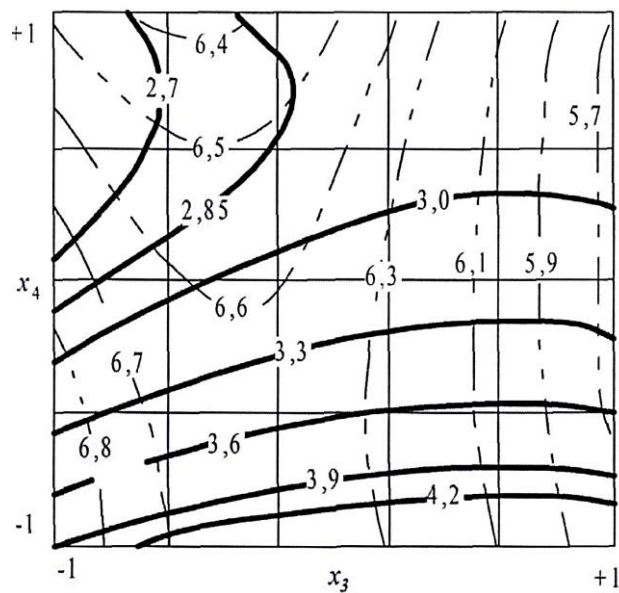


Рисунок 3.9 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують залежність питомих енерговитрат Y_3 (—) та ступеня подрібнення Y_3 (---) від: довжини утворюючої торцевої вихрової камери x_1 та середньозваженого розміру частинок вихідного матеріалу x_3 при $x_4=0$ та $x_2=0$



Малюнок 3.10 - Двовимірні перерізи поверхні відгуку, що характеризують залежність питомих енерговитрат Y_3 (—) та ступеня подрібнення Y_3 (---) від: подачі x_4 та середньозваженого розміру частинок вихідного матеріалу x_3 при $x_1 = 0$ і $x_2 = 0$

Проаналізовано двовимірні перерізу поверхонь відгуку, що відображають залежність питомих енерговитрат на одиницю ступеня подрібнення. А також знайдені залежності Y_2 та питомої енергоємності Y_3 від довжини утворюючої торцевої вихрової камери x_1 та середньозваженого розміру частинок вихідного матеріалу x_3 при подачі 600 кг/год ($x_4 = 0$). На рис. 3.8 видно, що з середньозваженому розмірі частинок вихідного матеріалу більше 25мм вміст у готовому продукті фракції більший 4,5 мм не відповідає вимогам. При $Y_1 = 4$ мм отримаємо $Y_3 = 2,8$ кВт-год /т.

На підставі проведеного аналізу двовимірних перерізів робимо висновок, що оптимальними значеннями факторів при вологості вихідного матеріалу 17,8% є:

- довжина твірної торцевої вихрової камери $X_1 = 55$ мм;
- середньозважений розмір частинок вихідного матеріалу $x_3 = 22$ мм;
- подача $x_4 = 650$ кг/год;

3.4 Висновки по розділу

Аналізуючи виконану експериментальну роботу можна зробити такі висновки:

- результати експериментальних досліджень підтвердили основні висновки теоретичних передумов;
- отримані регресійні моделі робочого процесу молоткової дробарки для визначення питомих енерговитрат, якості подрібнення та на підставі їх аналізу визначено оптимальні значення досліджуваних факторів: 6 вихрових камер, встановлених на торцевій поверхні дробильної камери, при цьому твірної вихрової камери повинна мати форму косої строфоїди з кутом нахилу лінії побудови 20° (довжина основи вихрової камери дорівнює 125 мм, ширина вихрової камери (80 мм); периферійну вихрову камеру, розташовану нижче вхідного патрубку щодо руху подрібнюваного матеріалу і що примикає до вхідного патрубку, при цьому твірної вихрової камери повинна мати форму косої строфоїди з

кутом нахилу лінії побудови 35° (довжина основи вихрової камери дорівнює 160 мм, ширина вихрової камери дорівнює ширині дробильної камери). При випробуваннях даної дробарки визначено показники, що характеризують робочий процес подрібнення в залежності від властивостей вихідного матеріалу;

- встановлення вихрових камер на дробарку дозволяє подрібнювати грубі корми будь-якої, у тому числі і підвищеної, вологості.

При споживаній потужності $P=18,2$ кВт-год пропускна здатність дробарки склала 1,4 т/год, питомі енерговитрати 12,8 кВт-год/т, застосування вихрових камер знижує енергоємність процесу подрібнення до 31% порівняно з дробаркою, що не має вихрових камер.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги охорони праці при подрібненні грубих кормів

Подрібнення грубих кормів є небезпечним видом робіт, тому під час їх виконання необхідно дотримуватися загальних вимог охорони праці, а також вимог нормативно-правових актів, зокрема:

Закон України "Про охорону праці"

Правила охорони праці під час експлуатації машин, механізмів, обладнання та устаткування, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 23.06.2013 № 440

Національний стандарт України "Граничні норми вібрації на робочих місцях" (ДСТУ 3052-95)

Національний стандарт України "Вимоги безпеки до машин і обладнання для подрібнення кормів" (ДСТУ 4168-2003)

Робоче місце для подрібнення грубих кормів повинно бути обладнане відповідно до вимог нормативно-правових актів, зокрема:

Робоче місце повинно бути добре освітленим. Відстань від робочого місця до інших машин і механізмів повинна бути не менше 1 м.

Поблизу робочого місця повинні бути встановлені засоби пожежогасіння.

Обладнання для подрібнення грубих кормів повинно відповідати вимогам нормативно-правових актів, зокрема:

Обладнання повинно бути справним і безпечним у використанні. На обладнання повинні бути встановлені захисні пристрої, що запобігають попаданню працівників під дію шкідливих і небезпечних факторів. До роботи з подрібнення грубих кормів допускаються працівники, які пройшли навчання з питань охорони праці та отримали відповідне посвідчення.

Під час експлуатації обладнання для подрібнення грубих кормів необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання та наявність захисних пристроїв.

Під час роботи не допускається: залишати обладнання без нагляду; працювати з обладнанням, у якого несправні захисні пристрої; піднімати, переносити або переміщувати обладнання без застосування спеціальних пристосувань. Після закінчення роботи необхідно відключити обладнання від електроживлення та прибрати робоче місце.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно: негайно припинити роботу; відключити обладнання від електроживлення; оголосити про аварію.

Працівники, які зайняті на подрібненні грубих кормів, повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, зокрема: захисними окулярами; захисним одягом; рукавичками; напівчоботами.

Робочий процес з подрібнення грубих кормів повинен бути організований таким чином, щоб виключити можливість травмування працівників. Зокрема, необхідно: забезпечити працівників інструкціями з охорони праці; організувати проведення інструктажів з охорони праці з працівниками; забезпечити контроль за дотриманням працівниками вимог охорони праці.

Дотримання загальних вимог охорони праці при подрібненні грубих кормів є обов'язковим для всіх працівників, зайнятих на цій роботі. Це допоможе запобігти нещасним випадкам та зберегти здоров'я працівників.

4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачем грубих кормів

1. Загальні положення

Молотковий подрібнювач грубих кормів є небезпечним устаткуванням, тому під час його експлуатації необхідно дотримуватися загальних вимог охорони праці, а також вимог цієї інструкції. До роботи з молотковим подрібнювачем допускаються працівники, які пройшли навчання з питань охорони праці та

отримали відповідне посвідчення.

2. Вимоги до робочого місця

Робоче місце для експлуатації молоткового подрібнювача грубих кормів повинно бути обладнане відповідно до вимог нормативно-правових актів, зокрема: Робоче місце повинно бути добре освітленим. Відстань від робочого місця до інших машин і механізмів повинна бути не менше 1 м. Поблизу робочого місця повинні бути встановлені засоби пожежогасіння.

3. Вимоги до обладнання

Молотковий подрібнювач грубих кормів повинен відповідати вимогам нормативно-правових актів, зокрема: Обладнання повинно бути справним і безпечним у використанні. На обладнання повинні бути встановлені захисні пристрої, що запобігають попаданню працівників під дію шкідливих і небезпечних факторів.

4. Вимоги до працівників

Працівники, які зайняті на експлуатації молоткового подрібнювача грубих кормів, повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, зокрема: захисними окулярами; захисним одягом; рукавичками; напівчоботами.

5. Вимоги безпеки під час експлуатації обладнання

Під час експлуатації молоткового подрібнювача грубих кормів необхідно дотримуватися таких правил безпеки: Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання та наявність захисних пристроїв. Під час роботи не допускається: залишати обладнання без нагляду; працювати з обладнанням, у якого несправні захисні пристрої; піднімати, переносити або переміщувати обладнання без застосування спеціальних пристосувань. Після закінчення ро-

боти необхідно відключити обладнання від електроживлення та прибрати робоче місце.

6. Вимоги безпеки у разі виникнення аварійних ситуацій

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно: негайно припинити роботу; відключити обладнання від електроживлення; оголосити про аварію.

7. Вимоги до організації робочого процесу

Робочий процес з експлуатації молоткового подрібнювача грубих кормів повинен бути організований таким чином, щоб виключити можливість травмування працівників. Зокрема, необхідно: забезпечити працівників інструкціями з охорони праці; організувати проведення інструктажів з охорони праці з працівниками; забезпечити контроль за дотриманням працівниками вимог охорони праці.

Додаткові вимоги безпеки

Крім загальних вимог безпеки, при експлуатації молоткового подрібнювача грубих кормів необхідно дотримуватися таких додаткових вимог: Перед початком роботи необхідно перевірити наявність і справність захисних пристроїв, зокрема: захисного кожуха над молотковою камерою; захисного кожуха над вивантажувальним шнеком; захисного кожуха над бункером для завантаження корму. Не допускається завантаження молоткової камери кормом, який перевищує допустиму висоту. Під час роботи необхідно стежити за тим, щоб в молоткову камеру не потрапляли сторонні предмети. Після закінчення роботи необхідно відключити обладнання від електроживлення та очистити робоче місце від залишків корму. Відповідальність. Працівники, які порушують вимоги цієї інструкції, несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.3 Правила поведінки в надзвичайній ситуації

Пожежа - це надзвичайна ситуація, яка може призвести до значних мате-

ріальних збитків та людських жертв. Тому важливо знати, як правильно поводитися в разі виникнення пожежі.

Основні правила поведінки під час пожежі:

Не панікуйте! Паніка може призвести до непередбачуваних дій, які можуть погіршити ситуацію. Оцініть ситуацію та визначте, чи є можливість самотійно ліквідувати пожежу. Якщо пожежа невелика, ви можете спробувати її загасити самотійно, використовуючи вогнегасник або інші засоби пожежогашіння. Якщо пожежа велика або ви не можете її самотійно ліквідувати, негайно повідомте про це в пожежну службу за телефоном 101. По можливості, евакуюйтеся з небезпечної зони. Якщо ви не можете евакуюватися самотійно, шукайте укриття в закритому приміщенні, подалі від вікон та дверей.

Якщо ви опинилися в задимленому приміщенні, закрийте рот і ніс хусткою або шматком тканини, щоб захистити дихальні шляхи від диму. Якщо ви евакуюєтеся з будинку, візьміть з собою документи, цінні речі та, якщо це можливо, аптечку. Після евакуації не повертайтеся до небезпечної зони.

Додаткові поради з поведінки під час пожежі: Якщо ви перебуваєте в приміщенні, закрийте всі вікна та двері, щоб запобігти поширенню пожежі. Якщо ви перебуваєте на відкритому повітрі, відійдіть від будівель та інших об'єктів, які можуть загорітися. Якщо ви їдете автомобілем, зупиніться на безпечній відстані від пожежі та вийдіть з автомобіля. Пам'ятайте, що дотримання правил поведінки під час пожежі допоможе вам зберегти життя та здоров'я.

4.4 Висновки по розділу

У цьому розділі ми розглянули, наскільки розроблений подрібнювач грубих кормів відповідає вимогам безпеки. Ми виявили деякі потенційні небезпеки та шкідливі фактори, які можуть впливати на оператора. Ми запропонували заходи для їх усунення, щоб зробити обладнання безпечнішим.

5 Економічна оцінка

Проведемо економічну оцінку удосконаленого молоткового подрібнювача грубих кормів у порівнянні з базовим варіантом – ДКР-3. Оцінку будемо проводити по експлуатаційним витратам, використовуючи методику, приведену в [10].

«Витрати на заробітну плату

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

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

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

t – тривалість роботи машини на добу, год.;

D – кількість робочих днів на рік;

δ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату.»

«Добовий час роботи машини визначається виходячи з добової потреби в подрібненні грубих кормів.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_3} = \frac{n \cdot g}{Q_3}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де $G_{\text{доб}}$ - добова потреба в комбікормах по фермі, кг;

Q_3 – продуктивність змішувача, кг/год.

n – поголів'я свиней на фермі, гол.;

g – добова потреба в комбікормі на голову, кг/гол.»

«Амортизаційні відрахування

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

де B – балансова вартість подрібнювача, грн.

α – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.»

«Відрахування на ремонт і ТО подрібнювача

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

де β – коефіцієнт відрахувань на ремонт та ТО, %.»

«Витрати на електроенергію визначимо за формулою

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

де N – потужність подрібнювача, кВт.;

c_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год.»

«Загальні витрати

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

Економія витрат

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

де EB_1, EB_2 – експлуатаційні витрати для ДКР-3 та розробленого подрібнювача відповідно, грн.

Термін окупності нового подрібнювача

$$P = \frac{B_2 - B_1}{EEB}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де B_1, B_2 – балансова вартість ДКР-3 та проектного подрібнювача, грн.»

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності подрібнювача

№ з.п.	Показник	ДКР-3	Подрібнювач за розробкою
1	2	3	4
1	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2	Годинна тарифна ставка, грн/год.	120,6	120,6
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Добовий об'єм робіт, т	3,2	3,2
5	Продуктивність подрібнювача, т/год	1,2	1,4
6	Тривалість роботи машини на добу, год.	2,67	2,29
7	Балансова вартість машини, грн.	86000	98200
8	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
9	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
10	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,64	2,64
11	Потужність на привід, кВт	20	18,2
12	Витрати на заробітну плату, грн.	143208,48	122750,13
13	Амортизаційні відрахування, грн.	8600,00	9820,00
14	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	6880,00	7856,00
15	Витрати на електроенергію, грн.	51392,00	40085,76
16	Експлуатаційні витрати, грн.	210080,48	180511,89
17	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	29568,59
18	Термін окупності нового сепаратора, років	-	0,41

Техніко-економічний аналіз експериментального подрібнювача показав, що він має ряд переваг перед базовим варіантом, зокрема, за рахунок зниження енергоємності та матеріалоемності. Вартість удосконалення подрібнювача становить 12 200 гривень, а економія експлуатаційних витрат за рахунок удосконалення удосконалень - 30 000 гривень. Таким чином, строк окупності удосконалення складе 0,4 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Раціональним технологічним рішенням при подрібненні грубих кормів для згодовування є їх подрібнення стаціонарними подрібнювачами безпосередньо перед згодовуванням. Актуальним питанням є дослідити технологічний процес приготування кормів на тваринницькій фермі подрібнювачем стеблових кормів із робочим органом молоткового типу.

2. Отримано аналітичні рішення рівняння Нав'є Стокса для руху повітряно-продуктового потоку у вихровій камері в залежності від радіусу, розміру вхідного перерізу та кута нахилу камери на підставі принципу максимуму витрати. Визначено залежність, що характеризує ступінь закрутки потоку у центральній області камери. Отримані профілі та вектори швидкостей повітряного потоку у вихровій камері та профілі тисків у вихровій камері. Отримано емпіричну залежність швидкості руху частки повітряно-продуктового потоку на виході з вихрової камери від швидкості основного потоку в дробильній камері.

3. Встановлення вихрових камер на дробарку дозволяє подрібнювати грубі корми будь-якої, у тому числі і підвищеної, вологості. При споживаній потужності $P=18,2$ кВт-год пропускна здатність дробарки склала 1,4 т/год, питомі енерговитрати 12,8 кВт-год/т, застосування вихрових камер знижує енергоємність процесу подрібнення до 31% порівняно з дробаркою, що не має вихрових камер.

4. Проаналізовано, наскільки розроблений подрібнювач грубих кормів відповідає вимогам безпеки. Ми виявили деякі потенційні небезпеки та шкідливі фактори, які можуть впливати на оператора. Ми запропонували заходи для їх усунення, щоб зробити обладнання безпечнішим.

5. Техніко-економічний аналіз експериментального подрібнювача показав, що він має ряд переваг перед базовим варіантом, зокрема, за рахунок зниження енергоємності та матеріалоємності. Вартість удосконалення подрібнювача становить 12 200 гривень, а економія експлуатаційних витрат за рахунок упровадження удосконалень - 30 000 гривень. Таким чином, строк окупності удосконалення складе 0,4 роки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Новицький А. В. Підвищення безвідказності кормодробарок конструкторсько-технологічними методами на основі структурного аналізу їх надійності: дис. ... кандидата технічних наук : 05.05.11 / Новицький Андрій Валентинович ; Національний аграрний університет. Київ, 2001. 190 с.
2. Бойко А. І., Новицький А. В. Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів. Механізація сільськогосподарського виробництва. К. : НАУ, 1997. Т. III. С. 6 – 8.
3. Подпряттов Г. І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. К.: НАУ, 2000. 126 с.
4. Ялпачик О. В., Самойчук К. О., Буденко С. Ф. Моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки. Процеси і апарати харчових виробництв. К. : Наукові праці НУХТ, 2015. Т.1. С. 134 – 141.
5. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Дробарка прямого удару з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення. Техніка і технологія АПК : науково-виробничий журнал. К., 2011. №12 (27). С. 7 – 10.
6. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140. 150
7. Соломка О. В. Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету ім. Петра Василенка. Харків, 2009. Вип. 78. С. 132 – 140.
8. Соломка О. В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи ротаційного подрібнювача зерна: дис. ... кандидата технічних наук: 05.05.11 / Соломка Олексій Валерійович ; Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2013. 206 с.
9. Олексієнко В. О. Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок: дис. ... кандидата технічних наук :

05.05.11 / Олексієнко Вадим Олександрович ; Таврійська державна агротехнічна академія. Мелітополь, 2006. 173 с.

10. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навч. посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю, Гвоздев В. О. ; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова Книга, 2009. 488 с.

11. Механізація виробництва продукції тваринництва / Ревенко І. І., Кукта Г. М., Манько В. М. та ін. ; за ред. І. І. Ревенка. К. : Урожай, 1994. 264 с.

12. Каталог продукції віртуальної виставки «Нестор». URL: <http://www.nestorexpo.com/belagro/index.pl?act=PRODUCTS&actid=oborudovanie+dlya+proizvodstva+kombikorma>.

13. . Продукція компанії ООО «МикоТрейд». URL: <http://himel.prom.ua/p27376942-zernodrobilka-himel-serii.html>.

14. Каталог продукції компанії «KITTRADE». URL: <http://www.kittrade.com.ua/?page=zernodrobilki/zernodrobilki>

15. Інформаційний сайт «AGROSERVER». URL: <http://www.agroserver.ru/b/drobilka-molotkovaya-molot-5000-250892.htm> (дата звернення: 20.02.2014). 73. Інформаційний сайт «DOZAAGRO». URL: www.dozaagro.ru.

16. 74. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Заболотько О. О. Машини та обладнання для тваринництва. К. : Кондор, 2011. 396 с.

17. Гвоздев О. В., Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. Вінниця, 2011. №9. С. 143 – 150.

18. Савченко В. М. Розробка молотків кормодробарок з локальним зносостійким покриттям: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Василь Миколайович Савченко ; Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2008. 20 с.

19. Сухенко Ю. Г., Сухенко В. Ю., Хоменко С. В. Підвищення довговічності робочих органів дробарок для зерна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. К. : НУБіП України, 2010. Вип. 144. Ч.5. С. 260 – 267

20. Новицький А. В. Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. К. : НУБіП України, 2015. Вип. 253. С. 141 – 148.

21. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Аналіз відмов засобів для приготування і роздавання кормів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. К.: НУБіП України, 2015. Вип. 253. С. 253 – 259.

22. Ялпачик Ф. Ю., Олексієнко В. О. Кормодробарка для сімейної ферми. АПК: наука, техніка, практика. К., 1989. №3. С. 22 – 23.

23. Ялпачик Г. С., Ялпачик Ф. Е. Кормоизмельчающие молотковые аппараты с режущими элементами. Совершенствование машин и механизмов при производстве продуктов растениеводства. К. : УСХА, 1985. С. 134 – 142.

24. Рожківський М. Ф. Розробка наукових основ, створення і впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. Вип. 90. С. 324 – 338. 157

25. Машини та обладнання переробних виробництв: Навчальний посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Чубов Д. С. та ін. ; за ред. О. В. Дацишин. К. : Вища освіта, 2005. 159 с.

26. Коруняк П. С. Обґрунтування схем і параметрів устаткування ударного подрібнення зерна: автореф. канд. техн. наук: 05.05.11 / Петро Степанович Коруняк ; Львівський державний аграрний університет. Львів, 2000. 20 с.

27. Рожківський М. Ф. Нове покоління молоткових дробарок. Техніка АПК. 2000. №1. С. 12 – 14.

28. Пат. 82751 Україна, МПК В02С 9/00, В02С 12/284, В02С 13/14. Дробарка / М. І. Карпенко; заявник і патентовласник Карпенко Микола Іванович. №а200607961, заявл. 14.07.2006; опубл. 12.05.2008, Бюл. №9.
29. Пат. 44123 Україна, МПК В02С 13/06. Дробарка зернових матеріалів / Я. А. Кузьміч, В. І. Дешко, В. В. Ткач, І. Я. Добрянський, І. В. Абрамов; заявник і патентовласник Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Української академії аграрних наук. №2001053195; заявл. 14.05.2001; опубл. 15.01.2002, Бюл. №1. 158
30. Пат. 66833 Україна, МПК В02С 13/13, В02С 13/04, В02С 13/284. Дробарка ударної дії / В. Є. Храпач, Є. І. Храпач; заявник і патентовласник Храпач Володимир Євгенійович. №2000074458; заявл. 25.07.2000; опубл. 15.02.2002, Бюл. №2.
31. Ревенко Ю. І. Удосконалення технологічного процесу і агрегату для приготування комбікормів в умовах господарств: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / Юлій Іванович Ревенко ; Національний аграрний університет. К., 2007. 22 с.
32. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування. Чинний від 28.04.2005. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с. (Національний стандарт України).
33. Remeira V., Emeneau B., Simmons J. Computerized production scheduling at LASCOS – An expert system approach. *Iron and steel Engineer*. 1991. №9. p. 16 – 19.
34. Zhang S. W. State of the art of polymer tribology. *Tribology Letters*. 1998. №2. p. 49 – 60.
35. Nikolov S. Modeling and simulation of particle breakage in impact crusher. *International journal of mineral processing*. 2004. 74. p. 219 – 225.
36. M. Lindqvist, Wear in cone crusher chambers. Thesis. Chalmers University of Technology. Sweden, 2005. p. 1 – 44.

37. Tihanov D., Binchiciu E., Florea C., Geanta V., Binchiciu H. Research regarding wear protection in sever exploitation condition of crusher jaws. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1128, p. 390 – 393.

38. P. Svedensten. *Crushing plant performance*. Thesis, Chalmers University of Technology. Sweden, 2007. p. 1 – 82.