

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових
дробарок”**

Виконав: студент VI курсу групи Аін-62
Спеціальності 208 „Агорінженерія”
(шифр і назва)

Щербатий Іван Володимирович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Буртак В.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Гуменюк Р.В.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.т.н., доцент Шарибура А.О.

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Щербатому Івану Володимировичу

1. Тема роботи: **“Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових дробарок”**

Керівник роботи: Буртак Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 12.12.2025 року

3. Вихідні дані: методичні рекомендації до виконання дипломної роботи, довідкова література, каталоги, методика планування та проведення експериментальних досліджень, довідкова література, патентний пошук, інструкції з охорони праці.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз стану питання та завдання дослідження.

2. Теоретичні дослідження робочих процесів подрібнювача сільськогосподарської продукції.

3. Програма та методика досліджень.

4. Результати досліджень.

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища.

6. Економічна ефективність результатів.

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічна частина до дипломної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4,6	Буртак В.В. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича			
5	Кохана Т.М., к.е.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Аналіз стану питання та завдання дослідження»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Теоретичні дослідження робочих процесів подрібнювача сільськогосподарської продукції»</i>	31.03.25-30.04.25	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Програма та методика досліджень»</i>	01.05.25-02.06.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу: «Результати досліджень»</i>	03.06.25-01.09.25	
5.	<i>Написання розділу «Охорона праці та захист навколишнього середовища»</i>	02.09.25-30.09.25	
6.	<i>Виконання розділу: «Економічна ефективність результатів»</i>	01.10.25-31.10.25	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	03.11.25-01.12.25	

Студент _____ Іван Щербатий
(підпис)Керівник роботи _____ Володимир Буртак
(підпис)

УДК 629.979:664.69

Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових дробарок.

Щербатий Іван Володимирович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича. –Дубляни, ЛНУВБМ ім. С.З. Гжицького, 2025.

78 с. текст. част., 24 рис., 6 табл., 21 джерело.

Розглянуто класифікацію та конструктивні елементи існуючих засобів для подрібнення зернових продуктів.

На основі аналізу конструкцій визначені задачі дослідження.

Розглянуто основи технологічного і конструктивного розрахунку.

В роботі досліджено закономірності відносного руху молотка як фізичного маятника у полі відцентрової сили; визначили залежності кінетичної енергії молотка та критичної швидкості руйнування зернових матеріалів; встановили залежність енергетичних показників процесу подрібнення від розмірно-масових параметрів молотків, в тому числі при зношуванні під час роботи; провели порівняльний аналіз якості подрібнення і ефективності роботи вдосконаленого молоткового ротора малогабаритного зернового подрібнювача відповідно до вимог розміру часток після подрібнення; виконали виробничу перевірку і розробили рекомендації щодо підвищення ефективності роботи подрібнювачі з шарнірно закріпленими молотками.

Встановлено, що економічна ефективність підтверджує необхідність впровадження малогабаритних зернових подрібнювачів з раціональними параметрами ротора, оскільки мінімальний економічний ефект складає від 1537 грн. на рік, а термін окупності капітальних вкладень не більше 1,2 року знаходиться у науково - рекомендованих межах.

ЗМІСТ

	ВСТУП	
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1	Аналіз способів подрібнення сільськогосподарської продукції та класифікація дробарок	8
1.2	Наукові дослідження на сучасному етапі	11
1.3	Обґрунтування теми, мета і завдання досліджень	16
	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ	
2	ПОДРІБНЮВАЧА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	20
2.1	Теоретичні дослідження щодо розрахунків дробарок	20
2.2	Визначення кінетичної енергії робочих органів	28
2.3	Аналіз визначення критичних швидкостей руйнування сільськогосподарської продукції	31
2.4	Аналіз визначення потужності при подрібненні сільськогосподарської продукції	33
3	ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1	Завдання здійснення досліджень	35
3.2	Методика по визначенню раціональних режимів роботи, ступеня подрібнення та енергетичних показників	36
3.3	Методика проведення порівняльного аналізу по ефективностях роботи молоткових роторів	46
3.4	Визначення ступеня якості подрібнення та критерії оцінки ефективності роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції	33
3.5	Здійснення порівняльного аналізу щодо ефективності роботи	40

	молотковим ротором	
4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
4.1	Результати раціональних режимів роботи дробарки	50
4.2	Результати порівняльного аналізу якісних показників	51
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	58
5.1	Аналіз виробничих небезпек на виробництві	58
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану і моделювання процесу виникнення травм та аварій	60
5.3	Розроблення логічно-імітаційних моделей процесів виникнення травм на виробництві	65
5.4	Розроблення заходів по захисті навколишнього середовища	69
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ	71
6.1	Економічне обґрунтування модернізації існуючого обладнання	72
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	75
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

Вступ

Подрібнення широко застосовується в сільськогосподарському виробництві для отримання сировини або напівфабрикату; з частинками такого розміру, який дозволяє значно полегшити або прискорити теплову обробку, перемішування, транспортування, дозування і інші процеси обробки.

Подрібнення сільськогосподарської продукції здійснюється із використанням наступних способів: роздавлюванням, стиранням, ударом, різанням. Звичайне подрібнення проводиться під дією комбінації тих або інших зусиль, наприклад роздавлювання і стирання, стирання та удар. Роздавлювання застосовують головним чином при грубому і середньому подрібненні, а стирання — при тонкому.

Залежно від структурно-механічних властивостей продукту вибирають і відповідні види подрібнення: для рослинної сировини: стирання, удар, різання; для крихких продуктів — роздавлювання, удар.

Залежно від переважання того або іншого способу подрібнення устаткування може бути стираючої і роздавлюючої дії (млини), ударної (дробарки) і різальної (різальні машини) дії.

Розрізняють два методи подрібнення твердих тіл; просте і вибіркове.

Від правильної побудови процесу подрібнення, яка полягає в раціональному застосуванні комплексу параметрів подрібнювальних і сепарувальних пристроїв, залежить якість і собівартість готової продукції, продуктивність подрібнювальних машин, питома витрата електроенергії, тощо.

Організація та ведення технологічного процесу на зернопереробних підприємствах повинні будуватися на сучасних наукових основах при умові використання ефективного і надійного в експлуатації технологічного та допоміжного обладнання.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз способів подрібнення сільськогосподарської продукції та класифікація дробарок

Процеси подрібнення є одними із ключових технологічних етапів у багатьох галузях сільськогосподарського виробництва, забезпечуючи підготовку сировини до подальшої переробки або використання. Під подрібненням розуміють процеси змін форми твердих тіл у частинки із різними розмірами шляхом механічного впливу зовнішніх сил, величина яких перевищує сили міжмолекулярних зв'язків самого тіла. Залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу та мети технологічного процесу, розрізняють два основних методи подрібнення — простий та вибірковий.

Просте подрібнення застосовують коли об'єкт оброблення має однорідний хімічний склад і його структурно-механічні характеристики рівномірно розподілені в об'ємі, та у результаті такого впливу утворюється сипка маса з однорідними за властивостями частинками, придатна для подальшого технологічного використання.

На відміну від цього, вибіркове подрібнення використовується для твердих тіл із неоднорідною структурою або складом, відповідно окремі частини матеріалу мають різні механічні та хімічні властивості, що зумовлює нерівномірне руйнування під час механічного впливу. Використання механічних, хімічних та біологічних дій дає змогу посилити контраст між компонентами тіла, завдяки чому при однакових умовах навантаження утворюються частинки із різною величиною і складом. Щоб досягнути високого ступеня подрібнення процеси зазвичай повторюють багаторазово, поступово відокремлюючи фракції різної дисперсності.

Вибірковий спосіб подрібнення являється основою технології багатогатункового розмелювання зерна пшениці, що дозволяє отримувати борошно різних сортів. Згідно із процесами підготовки зерна у розмелюванні важливим являється різниця структурно-механічних властивостей

анатомічної частини зернини — ендосперму, алеїронового шару та оболонки. З цією метою застосовують гідротермічну обробку, яка оптимізує фізичний стан компонентів зерна, посилюючи відмінності між ними.

Основною метою при багатогатунковому розмелюванні являється максимальне вилучення ендосперму при мінімальному пошкодженні оболонкових частин. Для цього широко застосовується вибіркове подрібнення, регулюванням геометричних і кінематичних параметрів вальцьових систем, а також величину питомих навантажень на робочі органи машин. Оптимізація цих параметрів забезпечує підвищення ефективностей при використанні подрібнювального матеріалу та збільшення виходів борошна вищих гатунків [4, 5, 6, 15].

Згідно вибору методів подрібнення і конструювання робочих органів доцільно враховувати вплив фізико-механічних властивостей вихідної сировини. Доцільним є використання таких методів впливу, за яких процес руйнування досягається при мінімальних напруженнях і найменших витратах енергії [1].

Рисунки 1.1 та 1.2 відображають класифікації і технологічних схем подрібнювачів. Залежно від цільових параметрів продукту подрібнення, на різних етапах технологічного процесу застосовуються різні типи подрібнювальних машин — вальцьові, молоткові дробарки, ентолейтери, деташери та бильні вимелювальні апарати [7, 21].

У сучасних вальцьових верстатах реалізують принципи стиску і зсуву, тоді як у молоткові дробарки і ентолейтер - одночасна дія сили удару та стирання. У деташерах і бильних вимелювальних машинах домінують комбінації ударно-стиральних впливів, що забезпечують високу ефективність процесу подрібнення за рахунок цілеспрямованого руйнування матеріалу.

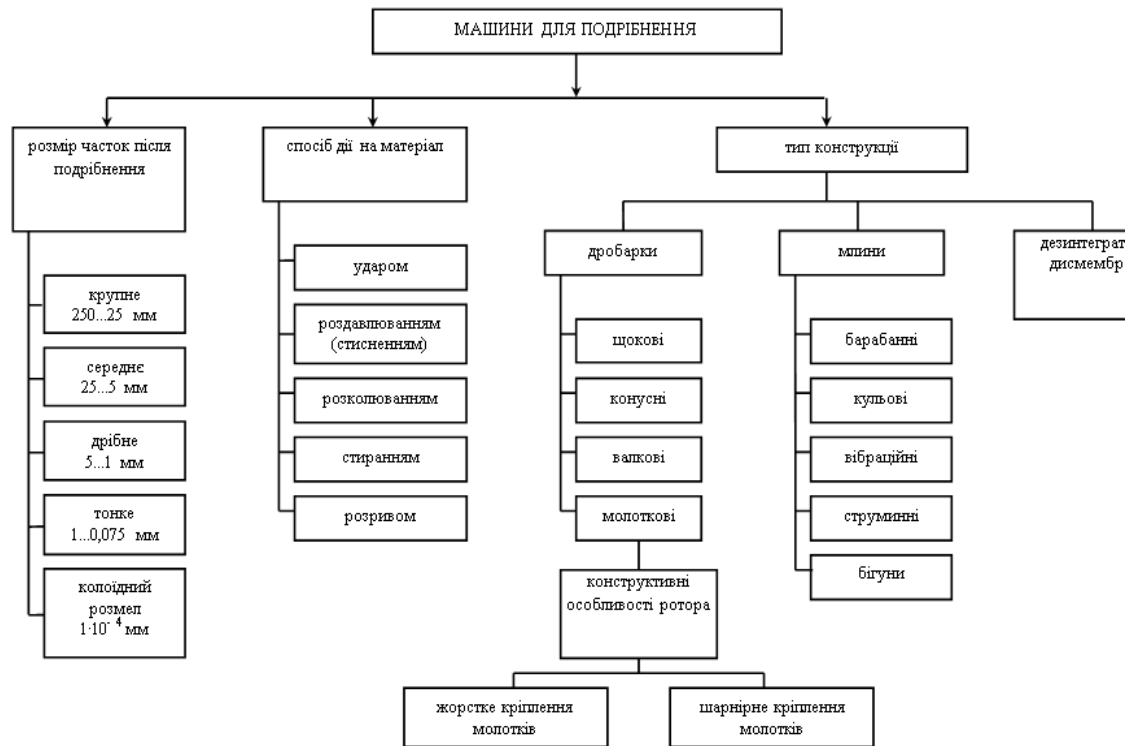


Рисунок 1.1 - Класифікація машин та обладнання для подрібнення сільськогосподарської продукції

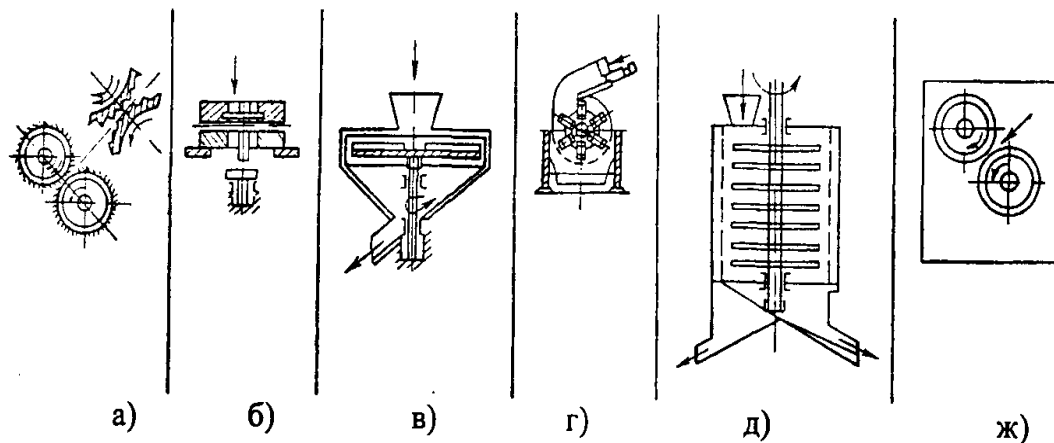


Рисунок 1.2 - Схеми різних типів подрібнювачів сільськогосподарської продукції: а) схема вальцового верстата; б) схема жорнового поставу; в) схема дискового подрібнювача; г) схема молоткової дробарки; д) схема бильної машини; ж) схема плющильного верстата.

1.2 Наукові дослідження на сучасному етапі

Процеси виробництва подрібнювальних сільськогосподарських матеріалів потребує виконання технологічним обладнанням виконання відповідних операцій на різних етапах технологічного циклу. Ефективність роботи, зокрема молоткові дробарки, визначається комплексом взаємопов'язаних технологічних, механічних і конструктивних факторів [2, 3, 9, 10, 16].

Проблематиці по зношуванні і підвищенні довговічності робочих органів дробарок присвячено численні дослідження вітчизняних учених, серед яких варто відзначити Бойка А.І., Сідашенка О.І. та інших. Вагомі внески по вдосконаленню конструкцій дробарок зробили Дацишин О.В., Ялпачик Ф.Ю., Ревенко І.І., Коруняк П.С., Сироватка В.І., Чурсинов Ю.О., [13, 14, 17, 20]. У їхньому доробку відображено розробка різноманітних підходів щодо підвищення ефективності експлуатації молоткових дробарок, зокрема сільськогосподарським виробництвом.

Одним із основних напрямів при підвищенні ефективностей функціонування дробарок є впровадження та використання конструкторсько-технологічної методики, спрямованої на забезпечення надійності та безвідмовності роботи. Наукові дослідження сприяли вдосконаленню схем щодо термічних обробок робочих елементів, оптимізації конструкції приводів, розробці методики розрахунку робочих елементів. Крім того, запропоновано регламент технічного обслуговування механізмів, що дозволяє підвищити експлуатаційну надійність дробарок, які використовуються у промислових умовах.

Іншими напрямками підвищення ефективності є удосконалення конструктивних схем дробарок, зокрема, встановлено, що застосування пружних підвісів із дисбалансом створює контрольовані вібраційні процеси, які сприяють руйнуванню продуктово-повітряного шару. Це сприяє

покращенню відведення подрібнених продуктів та зниження середніх витрат потужностей під час роботи молотковими дробарками.

Разом із тим, дослідження показали, що при зниженні витрат енергії (в межах 5%) відбувається часткова компенсація додаткових втрат на привід дисбалансів (орієнтовно 2,3%). Окрім того, вібраційний режим може мати негативний вплив на довговічність деталей, зменшуючи міжремонтні ресурси основних вузлів і агрегату загалом.

У наукових працях [11, 12, 19] зосереджено увагу на закономірностях при формуванні розміру частинок і теоретичних основах визначення оптимальних параметрів дробарок, зокрема динамічних режимів руйнування подрібнювального матеріалу та рівнянь рухів молотків. Згідно проведених експериментальних досліджень вдалось встановити оптимальні режими роботи відцентрових дробарок, визначити його енергетичні характеристики й здійснити уточнення щодо конструктивних параметрів.

Праці [13, 20] відображають результати комплексного аналізу, зокрема теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язаних із процесом ударного подрібнення, залежностями ефективності впливу механічні властивості та розміри частинок матеріалу що подрібнюється.

Вплив параметрів на роботу дробарок, умовно поділяють на дві групи:

1. До першої відносять вплив конструктивних характеристик обладнання — діаметри та довжину роторів, кількості молотків, колову швидкість їхнього обертання, типи сепараторів, тощо.

2. Друга група включає технологічні параметри подрібнювальних процесів, зокрема властивостей матеріалів (вологість, гранулометричні склади до і після подрібнення, коефіцієнти придатності до розмелювання) та режимів роботи дробарок.

Типи дробарок і принципи їх роботи.

Використання щоккових дробарок знайшло широке використання при крупному та середньому подрібненні сільськогосподарських матеріалів

(ступінь подрібнення $i = 3 \div 5$). Принцип дії ґрунтується на роздавлюванні, розколюванні й розтиранні частинок під час переміщення рухомої щоки відносно нерухомої. Розрізняють два типи щоккових дробарок:

- з простими коливаннями щоки, коли її рух відбувається навколо фіксованої осі (рис. 1.3);
- зі складними коливаннями, при якому щока закріплена на ексцентриковому валу, що забезпечує одночасне вертикальне та горизонтальне переміщення.

Молоткова дробарка (рис. 1.4). Призначена для отримання дрібних й однорідних продуктів без необхідності додаткового сортування. Широке застосування знайшли для подрібнення крихких матеріалів (зернова сировина, сіль, кістки, тощо). Процеси подрібнення здійснюються із використанням ударів робочих елементів, при цьому відбувається удари подрібнювального матеріалу із корпусом дробарки та їх взаємним перетиранням. Найпоширенішими є дробарки які містять вільнопідвішені молотки.

Використання *вальцьових дробарок* широкого застосування набуло при середньому та дрібному подрібненні зерна із високим вмістом клейковини. Робочі органи являють собою два циліндричних вальців, які можуть мати гладкі, рифлені або зубчасті поверхні. Принцип дії ґрунтується на сумісній дії деформації стискання і зсуву при обертанні вальців назустріч один одному із різними швидкостями.

Основні фактори, що мають впливають щодо ефективності їх роботи:

- співвідношення по колових швидкостях вальців (1,25–2,5);
- робоча поверхня (рифлені, гладкі);
- зазори згідно довжини вальців;
- радіальні биття (менше 0,02 мм).

Вальцьовий верстат А1-БЗН (рис.1.5), конструкція та принцип роботи.

Вальцьовий верстат А1-БЗН складається із двох пар вальців (1, 2), механізмів подачі (3) і розподілу продукту (4), систем регулювання навантаження (9, 10), приймальних бункерів (12) та очисників вальців (11, 13).

Під час роботи зерно через приймальну трубу (6) подається в горловину (7), де розподіляється на два потоки й активує шторки-датчики (5), які вмикають механізм привалу-відвалу вальців, потім продукт рівномірно подається шнеком до вальців, що подрібнюють. Регулювання продуктивності здійснюється зміною положення заслінок (9) за допомогою механізмів оперативного регулювання подачі (10), а отриманий подрібнений матеріал потрапляє у бункер (12), звідки і видаляється. При очищенні вальців використовуються ножі (гладкі поверхні) або щітки-очисники (рифлені).

Основне регулювання режиму подрібнення зводиться до установаження оптимальних зазорів між робочими органами (вальцями) під час роботи під навантаженням.

Переваги верстатів А1-БЗН порівняно із аналогами (БВ, ЗМ2):

- пустотілі вальці, дозволяють зменшити металоємність і полегшується подача продукту (кут нахилу 30° до горизонту);
- система із водяним охолодженням, яка підтримує стабільні теплові режими зони подрібнення ($t = 22-25^{\circ}\text{C}$), запобігає перегріванню та утворенню грудок;
- використання автоматичної системи керування привалом-відвалом у нижньому вальці, синхронізована із механізмом подачі;
- універсальність застосування та висока технологічна надійність.

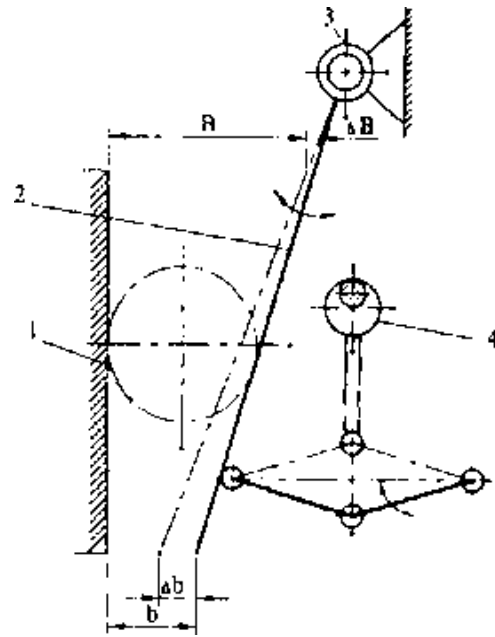


Рисунок 1.3 - Схема дробарки із простим коливанням рухомої кромки:

1 - нерухома щока; 2 - рухома щока; 3 - шарнір; 4 - привід.

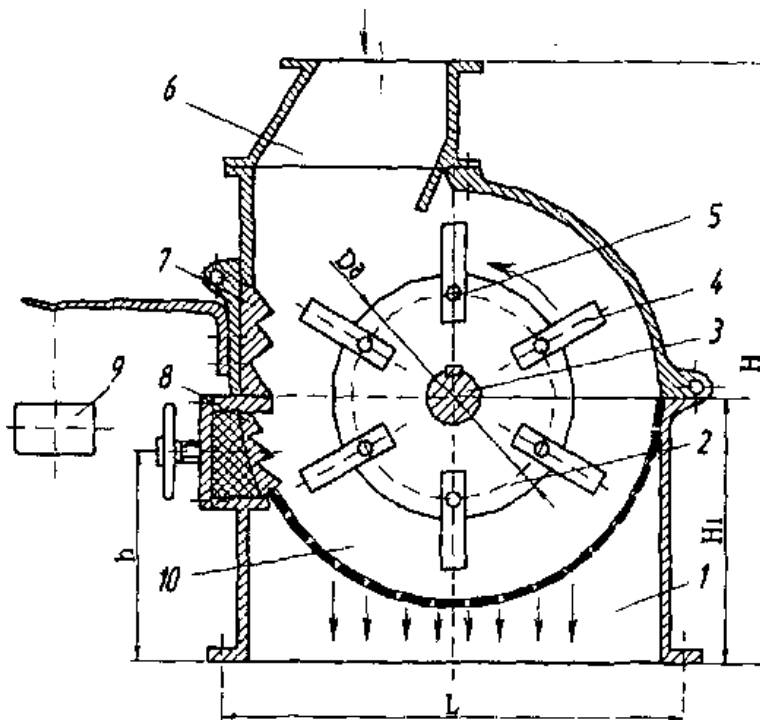


Рисунок 1.4 - Конструктивна схема молоткової дробарки:

1 – корпус; 2 – диск; 3 – вал; 4 – молоток; 5 – вісь; 6 – завантажувальна горловина; 7 – рухома щока; 8 – регулювальна щока; 9 – противага; 10 – сито.

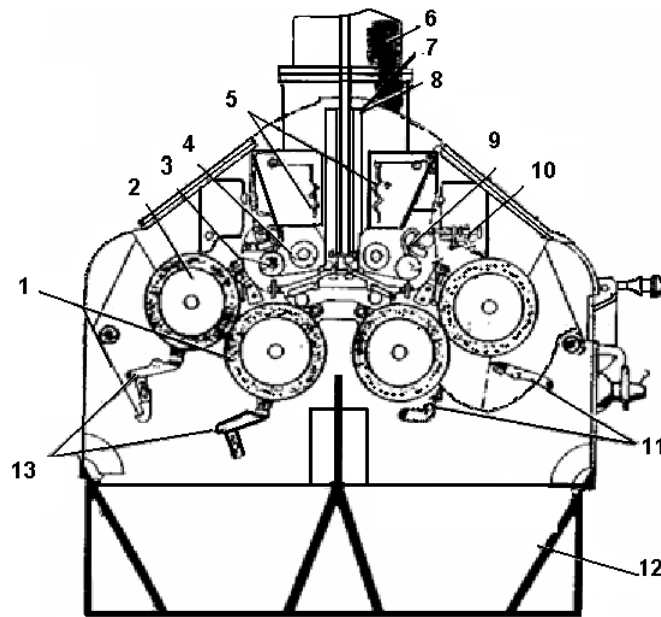


Рисунок 1.5 - Схема вальцювого верстата:

1, 2 - вальці що мелють; 3 - дозуючий валок механізму подачі продукту; 4 - шнек механізму подачі продукту; 5 - шторки-датчики; 6 - труба приймальня; 7 - горловина; 8 - чутливий елемент сигналізатора рівня; 9 - заслінка; 10 - регулятор зазору живильника; 11 - ножі-очисники; 12 - бункер вивантажувальний; 13 - щітки-очисники.

1.3 Обґрунтування теми, мета і завдання досліджень

Розроблення сучасних зернових дробарок, а також впровадження енергозберігаючих режимів їх функціонування потребує комплексних науково-технічних підходів, які охоплюють глибокий аналіз конструктивно-кінематичних співвідношень елементів системи «барабан – молоток». Одним із найбільш перспективних напрямів у цьому контексті є інтеграція інтелектуальних систем керування приводом подрібнювального обладнання. Використання адаптивних і прогнозних алгоритмів управління відкриває можливості для покращення динамічних характеристик агрегатів, підвищення стабільності робочого процесу та зниження питомої енергоємності подрібнення.

Важливою передумовою підвищення ефективності та надійності роботи дробарок є якість комплектувальних елементів і вузлів, оскільки саме їхні технологічні та конструктивні параметри визначають довговічність, стійкість до динамічних навантажень та безвідмовність обладнання. Оптимізація електричних схем керування, модернізація зон подрібнення та удосконалення геометричних параметрів молоткового ротора повинні базуватися на комплексних експериментальних і теоретичних дослідженнях, що враховують реальні умови експлуатації, фізико-механічні властивості подрібнюваної сировини та вимоги до якості кінцевого продукту.

Ефективне функціонування сучасного подрібнювального обладнання можливе за умови тісної інтеграції з виробниками, застосування передових технологій автоматизації, сенсорного контролю та енергозбереження. Такий підхід забезпечує стабільну, безпечну та ресурсоефективну роботу дробарок у сільськогосподарському виробництві, мінімізує вплив людського фактору та підвищує рівень технологічної надійності.

Підвищення ефективності роботи дробарок має комплексний характер і охоплює низку ключових напрямів, серед яких:

1. Проведення сервісно-технологічних заходів, спрямованих на підвищення безвідмовності і надійності роботи агрегатів, включно з оптимізацією режимів технічного обслуговування та контролем технічного стану вузлів.
2. Здійснення модернізації конструкцій дробарок шляхом застосування додаткових елементів, зокрема пружних підвісів корпусу або регульованих дисбалансів ротора, що дозволяє зменшити вібраційні навантаження, покращити кінематичну стабільність і підвищити продуктивність процесу подрібнення.
3. Розроблення конструкцій молоткового ротора, які враховують реологічні особливості сировини, забезпечують оптимальну траєкторію руху

молотка та сприяють зниженню питомої енергоємності технологічного процесу.

4. Впровадження системи керування приводом нового покоління, які дозволяють реалізувати енергозберігаючі режими, адаптивно регулювати частоту обертання ротора, мінімізувати перевантаження та підвищити загальну ефективність роботи дробарок.

Наукові дослідження повинні охоплювати всі аспекти функціонування подрібнювальних машин — від теоретичного аналізу законів взаємодії робочих органів із матеріалом до вдосконалення конструктивних рішень і практичної реалізації енергозберігаючих технологій, а такий підхід забезпечить істотне зниження енергоємності процесів подрібнення, підвищить економічну ефективність та рівень технологічності аграрного сектору.

Мета та завдання дослідження

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності роботи дробарки сільськогосподарської продукції на основі визначення раціональних параметрів та режимів роботи молоткового ротора із шарнірно закріпленими молотками.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі наукові та практичні завдання:

1. Встановити закономірності відносного руху молотка як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили та на цій основі визначити ряд оптимальних значень лінійних співвідношень елементів ротора з шарнірно закріпленими молотками.

2. Встановити залежності енергетичних показників процесу подрібнення від розмірно-масових параметрів молотків, зокрема з урахуванням їхнього зношування під час експлуатації.

3. Провести порівняльний аналіз якості подрібнення та ефективності роботи вдосконаленого молоткового ротора малогабаритної

зернової дробарки відповідно до зоотехнічних вимог до розмірів часток після подрібнення.

4. Виконати виробничу перевірку та розробити практичні рекомендації щодо підвищення ефективності роботи дробарок із шарнірно закріпленими молотками.

Об'єкт дослідження – дробарка для подрібнення сільськогосподарської продукції.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників процесу подрібнення залежно від параметрів роботи дробарки та конструкції її робочих органів.

2.ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЮВАЧА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Теоретичні дослідження щодо розрахунків дробарок

Щоківі дробарки розраховують виходячи із максимальних розмірів отриманого подрібнюваної сировини $D_{\max}$ та розмірів отриманих частинок $d_{\max}$, твердістю та густиною сировини, а також узгодженість із продуктивністю (рис. 2.1).

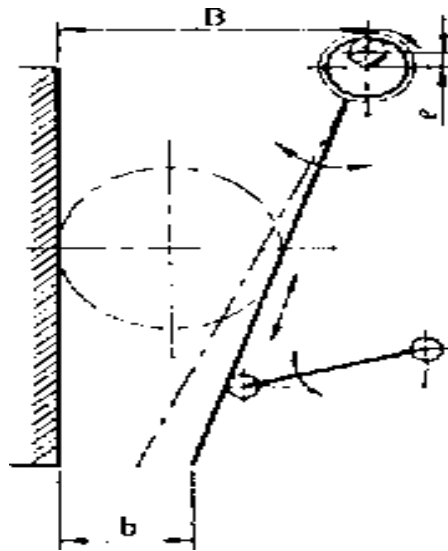


Рисунок 2.1 - Схема дробарки зі складним коливанням рухомої щокви.

Ширину B у завантажувальному отворі дробарки вибирають згідно умов по розміщенню сільськогосподарської продукції, враховуючи максимальні розміри у верхній частині дробильної камери:

$$B = (1,2 \div 4,25) D_{\max} \quad (2.1)$$

Відповідно приймають:

$$B = 0,8 D_{\max} \quad (2.2)$$

Також одним із важливих параметрів при здійсненні розрахунків щоківих дробарок являється кут захвату подрібнювального матеріалу.

Процес захвату подрібнювального матеріалу буде здійснюватись за умови, сили тертя більшої від сили виштовхування (рис. 2.2).

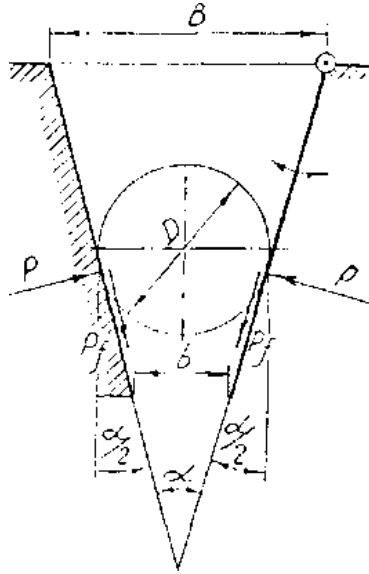


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема щоквої дробарки.

Визначення виштовхувальної сили, проекція якої здійснюється згідно вертикальної осі:

$$2P \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.3)$$

Визначення проекції сили тертя згідно цієї осі:

$$2Pf \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2.4)$$

Відповідно умови захватів подрібнювального матеріалу:

$$2Pf \cos \frac{\alpha}{2} \geq 2P \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.5)$$

де P - значення зусилля, яке діє на подрібнювальний матеріал щокми, Н
 f - значення коефіцієнта тертя.

$$f = \operatorname{tg} \varphi \geq \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \text{ або } \alpha \leq 2\varphi \quad (2.6)$$

Відповідно, умови захватів будуть забезпечуватись при кутах захватів що дорівнюють або будуть меншими подвійних кутів тертя, Згідно практики щоківі дробарки повинні мати наступні кути захвату:

$$\alpha = 18 \div 22^\circ, \text{ або } \alpha \approx 1,4\varphi$$

Визначення кількості коливань рухомої щоки повинна відповідати частоті обертання ексцентрикового вала та визначається згідно рівнянь:

- довжина розвантажувальної щілини в межах до 1 м:

$$n = \frac{0,85}{L^{\frac{2}{3}}} \sqrt{\frac{tg\alpha}{\Delta b}} c^{-1} \quad (2.7)$$

де Δb , L - показник ходу щоки та довжина розвантажувальної щілини, м;

Фізико-механічні властивості, невизначеність розмірів подрібнювальних матеріалів, а також їхня взаємодія із робочими органами дробарки мають вплив на хід стискання. Відповідно вибір здійснюється із запасом:

- дробарка, яка використовує просте коливання рухомої щоки:

$$\Delta B = (0,01 \div 0,03)B, \Delta b = 8 + 0,26b \quad (2.8)$$

- складне коливання:

$$\Delta B = (0,03 \div 0,06)B, \Delta b = 7 + 0,1b$$

Визначення об'ємної продуктивності дробарки здійснюється згідно формули:

$$G_o = n \times L \frac{(2b + \Delta b)\Delta b}{2tg\alpha} m^3 \quad (2.9)$$

Визначення масової продуктивності дробарок:

$$G_o = G_p \times \rho \times \varphi, \frac{kg}{c} \quad (2.10)$$

$\varphi = 0,3 - 0,5$ - великі дробарки і тверді матеріали;

$\varphi = 0,5 - 0,7$ - середні дробарки і нетверді матеріали.

Дробарки, які мають складний рух щоки φ збільшують на 20÷25 %.

Визначення потужності електродвигуна приводу дробарки визначається згідно формули:

$$N = \frac{A_n}{1000\eta}, \text{кВт} \quad (2.11)$$

$\eta = 0,6 - 0,7$ - к.к.д. дробарки.

При практичних розрахунках визначення потужності електродвигуна здійснюється згідно емпіричної формули:

$$N_e = 39nF^{1,25}, \text{кВт} \quad (2.12)$$

Відповідно роботу, яка затрачається при подрібненні матеріалу, визначають згідно формули:

$$A = \frac{1000N_e}{n} \eta, \text{Дж} \quad (2.13)$$

Показник максимального зусилля, яке виникає при процесах подрібнення:

$$P_{\max} = \frac{2A}{\Delta b} \quad (2.14)$$

$P_{\max}$ являється фіксованим згідно довжини рухомої щоки та відповідає:

- дробарка із простими коливаннями $l_1 = \frac{l}{3}$

- дробарка із складними коливаннями $l_1 = \frac{l}{2}$

Відстані шарніру підвіски щоки до шарніру розпірної плити приймаються як довжина щоки.

В молотковій дробарці первинне руйнування продукту відбувається при зустрічі частинки з молотками. Це можливо при коловій швидкості молотків, мінімальне значення якої визначається виходячи з закону кількості руху і приймаючи початкову швидкість руху частинки перед зіткненням її з молотком рівною нулю. Вона визначається з виразу:

$$v_{\min} = \frac{P \times \tau}{m} \quad (2.20)$$

де P — середня миттєва сила опору руйнування частинки, Н;

τ — тривалість удару молотка по частинці, с;

m — маса частинки, кг.

При конструюванні молоткових дробарок з великими коловими швидкостями робочих органів необхідно врахувати інерційні сили, які виникають із-за неврівноваженості ротора. Найбільш сильні удари відбуваються при зустрічі частинок з кінцями молотків, коли вони займають найвище положення. Ці удари молотків передаються на всю дробарку і швидко виводять її з ладу.

Для зниження ударних дій на дробарку молотки повинні бути врівноважені на удар. Це досягається при умові відсутності або незначній ударній реакції в осі підвіски молотків.

Розрахункова схема елементів молоткової дробарки показана на рис. 2.4.

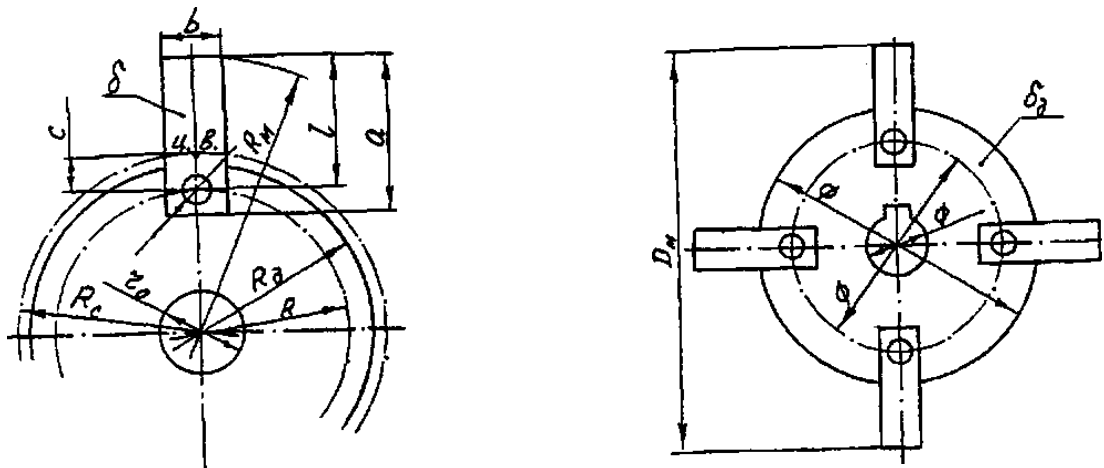


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема елементів молоткової дробарки.

У відповідності умовам рівноваги молотків та законів кількості руху у моменти ударів, молотки здійснюють безударну роботу згідно рівняння та у відповідності конструктивним розмірам:

$$r^2 = l \times c \quad (2.21)$$

Визначення максимального колового напруження у сталюму диску:

$$\sigma_{t_{\max}} = \rho \omega^2 (0,825 R_d + 0,175 r_d^2) \quad (2.22)$$

Колові напруження від сили інерції молотків визначається згідно формули А. Р. Демидова:

$$\sigma_t = \frac{P_i R Z}{\pi \delta_d (R^2 - r_d^2)} \quad (2.23)$$

Визначення відцентрової сили інерції молотків:

$$P_i = m_i \times \omega^2 \times R_b \quad (2.24)$$

Значення максимальних колових напружень:

$$\sigma_{t_{\max}} = \rho \cdot \omega^2 (0,825 \cdot R_d + 0,175 \cdot r_0^2), \quad (2.25)$$

Відцентрову силу інерції молотків визначають згідно рівняння:

$$P_i = m_i \cdot \omega^2 R_c, \quad (2.26)$$

Допустимі напруження при зминанні і зрізі для дисків, виготовлених з вуглецевих сталей з тимчасовим опором розриву 490–590 МН/м², приймається до 150 МН/м² і береться в межах $[\sigma]_{зм} = 60 \div 90$ МН/м²; $[\sigma]_p = (0,2-0,3) \sigma_m$, або $[\sigma]_{зр} = 0,8 [\sigma]$, де σ_m – межа течіння; $[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу при розтягу.

Вальцеві дробарки із гладкими вальцями знаходять застосування при подрібненні твердих матеріалів, а показники максимальних розмірів подрібнювального матеріалу $d = \frac{D}{20}$, де діаметр вальця повинен відповідати

куту захвату $\alpha = 18 - 20^\circ$. При цьому ступінь подрібнення $i = \frac{d}{b} = 3 - 4$, (рис. 2.5)

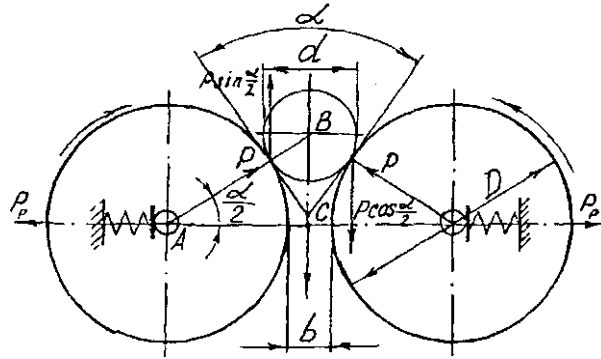


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема вальцевої дробарки.

Дробарка яка містить зубчасті вальці використовується найширше при грубому подрібненні.

Відповідно ці дробарки відповідають $d = \frac{D}{10}$; $i = 10 \div 12$.

Частоту обертання гладких вальців розраховують згідно формули:

$$n \geq 100 \sqrt{\frac{f}{Dd\rho}} \text{ об/с}, \quad (2.27)$$

де $f = 0,3 - 0,35$.

Визначення масової продуктивності вальцевої дробарки, із врахуванням збільшення ширини вивантажувальної частини під дією пружин збільшиться орієнтовно на 25 %:

$$G = 1,25 \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot b \cdot n \cdot \rho \cdot \psi \text{ кг/с}, \quad (2.28)$$

де $l = (0,5 - 0,7) D$, $\psi = 0,2 \div 0,3$ (тверді матеріали), $\psi = 0,4 \div 0,6$ (в'язкі матеріали).

Визначення потужності електродвигуна дробарки:

$$N = 720 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot \left(d + \frac{D^2}{120} \right) \text{ ,кВт}, \quad (2.29)$$

Подрібнення матеріалів середньої твердості:

$$N = 150 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot k, \text{ кВт}, \quad (2.30)$$

$$\text{де } k = 0,06 \cdot \frac{d}{b} + 0,15.$$

Подрібнення дуже крихких матеріалів:

$$N = 0,43G \frac{d}{b} \text{ кВт}, \quad (2.31)$$

2.2 Визначення кінетичної енергії робочих органів

Кінетична енергія робочих органів являється рушійним елементом який дозволяє здійснити руйнування подрібнювального матеріалу. Вона після удару складається із суми кінетичних енергій руху молотка та порції матеріалу. Кінетична енергія молотка (E_{KI}) після удару складається [3] з кінетичної енергії коливального руху молотка на осі A і кінетичної енергії переносного обертального руху центра мас молотка відносно миттєвого центра обертання P (рис. 2.6):

$$E_{KI} = \frac{J_A \cdot \omega_m^2}{2} + \frac{m \cdot u_r^2}{2}, \quad (2.32)$$

де J_A – значення моменту інерції молотка;

ω_m – значення кутової швидкості молотка по відношенню до миттєвого центра швидкостей, с^{-1} ;

u_r – значення швидкості центра мас молотка після здійснення удару, м/с .

Визначення кутової швидкості точки ω_m :

$$\omega_m = \frac{u_r}{R}, \quad (2.33)$$

Значення миттєвого центру швидкостей R (рис.2.1) можливо визначити із перетинання двох перпендикулярів, які проведені відносно векторів швидкостей $\vec{v}_e$ і $\vec{v}_r$. Кут j_m при ударі не зазнає змін, а відповідно значення

відстані R відносно миттєвого центра швидкостей набуде збільшення до безкінечності, тому $j_m = 0$.

Згідно формули (2.2)

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \omega_m = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{v_r}{R} = 0 \quad (2.34)$$

Якщо w_m підставити у формулу (2.2):

$$E_{\kappa 1} = \frac{m \cdot u^2}{2} \quad (2.35)$$

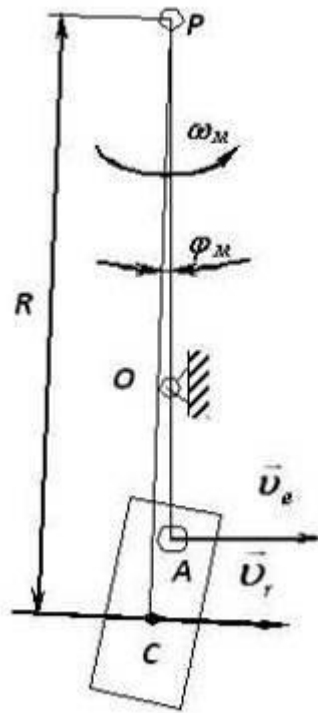


Рисунок 2.6 - До визначення миттєвої кутової швидкості молотка після удару

Значення кінетичної енергії наважки сільськогосподарської продукції за ударом:

$$E_{\kappa 2} = \frac{m_3 u_3^2}{2}, \quad (2.36)$$

де m_3 – значення маси наважки сільськогосподарської продукції який подрібнюється;

u_3 – значення швидкості наважки сільськогосподарської продукції.
Кінетична енергія системи після удару

$$E_{\Sigma} = E_{\kappa 1} + E_{\kappa 2} + E_o,$$

де E_o – значення показника енергії яка витрачається на подолання сил опору середовища.

Відповідно E_o - буде частиною усієї енергії, то:

$$E_{\Sigma} = E_{\kappa 1} + E_{\kappa 2} + k_o E_{\Sigma},$$

де k_o – значення коефіцієнту опору середовища.

Енергія удару E_y визначається як різниця енергії до та після взаємодії:

$$E_y = \frac{J_A \omega_{\epsilon}^2}{2} (1 - k_o) - \frac{J_A \omega_{\kappa}^2}{2}$$

Відповідно:

$$\omega_{\kappa} = \frac{\omega_{\epsilon} (r_o + l_c) - u_{\gamma}}{l_c},$$

де l_c – значення лінійного розміру від осі кріплення молотка до його центру мас;

r_o – значення радіусу кріплення осі молотка на барабані (рис.2.7).

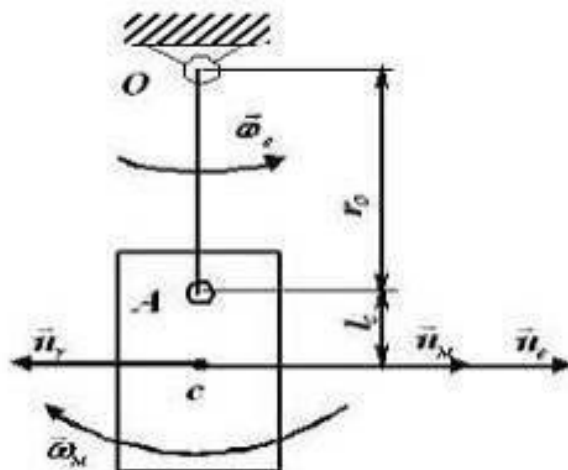


Рисунок 2.7 - Геометричні параметри системи барабан - молоток

Здійснивши підстановки, перетворення та спрощення отримаємо:

$$E_y = \frac{J_A u_\gamma^2}{2l_c} \quad (2.37)$$

Відповідно значення швидкості молотка після удару:

$$u_\gamma = v_\gamma - (1 - k_s) \cdot \frac{m_{zl}}{m + m_{zl}} \cdot (v_\gamma + v_z) \quad (2.38)$$

де v_γ - значення швидкості молотків до удару;

v_z - значення швидкості наважки сільськогосподарської продукції у момент удару;

k_s - значення коефіцієнта відновлення, зокрема пшениця - 0,8,0,4; горох - 0,77...0,4; кукурудза - 0,7...0,34.

m - значення маси молотка;

m_{zl} - значення маси сільськогосподарської продукції, що знаходиться у зоні молотка у момент удару.

Відповідно енергія удару молотка визначається:

$$E_y = \frac{(v_\gamma \cdot (1 - \frac{m_{zl}(1 - k_s)}{m + m_{zl}}))^2 \cdot J_A}{2 \cdot l_c^2} \quad (2.39)$$

Згідно теоретичної залежності можливо здійснити визначення енергетичних показників, зокрема критичні швидкості руйнування сільськогосподарської продукції та потужності яка витрачається на здійснення процесу подрібнення.

2.3 Аналіз визначення критичних швидкостей руйнування сільськогосподарської продукції

Як вже зазначалося, для опису процесу руйнування матеріалів з властивостями, що характеризуються пружно-в'язкістю, було запропоновано використовувати енергетичний критерій міцності. Суть цієї теорії полягає в тому, що під час деформації певна частина енергії розсіюється через

внутрішнє тертя, тоді як енергія P накопичується як потенціальна енергія пружини:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot E \cdot \varepsilon^2 \cdot V ; \quad (2.40)$$

де E - модуль пружності матеріалу;

ε - відносна деформація зразка матеріалу,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} ;$$

де Δl - приріст довжини зразка матеріалу; l - довжина зразка матеріалу;

V - об'єм зразка матеріалу.

Трансформуючи цей вираз, одержимо значення питомої роботи руйнування для даного матеріалу:

$$A_n = \frac{\Pi}{V} = \frac{1}{2} E \cdot \varepsilon^2 ,$$

де A_n - значення питомої роботи.

Оскільки напругу σ в зразку можна виразити

$$\sigma = E \cdot \varepsilon ,$$

то вираз для визначення роботи на руйнування зразка матеріалу набуде вигляду:

$$A_{\text{кр}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{\text{кр}}^2}{E} , \quad (2.41)$$

Умова руйнування:]

$$\sigma_{\text{кр}} = \sqrt{2EA_{\text{кр}}} ; \quad (2.42)$$

Значення виконання критичної роботи $A_{\text{кр}}$, згідно виразів (2.41) і (2.42) будуть рівні один відносно іншого:

$$\frac{v_{кр}^2 \cdot \left(1 - \frac{m_z \cdot (1 - k_g)}{m + m_z}\right)^2 \cdot J_A}{2 \cdot l_c^2} = \frac{\sigma_{кр}^2}{2 \cdot E}$$

Надалі знаходимо значення критичної швидкості удару молотка, при руйнуванні сільськогосподарської продукції:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{\sigma_{кр}^2 \cdot l_c^2 \cdot V}{J_A \cdot \left(1 - \frac{m_z \cdot (1 - k_g)}{m + m_z}\right)^2 \cdot E}} \quad (2.43)$$

Значення моменту інерції молотка:

$$J_A = m \cdot l_c \cdot l_{зв} \quad (2.44)$$

Об'єм продукції, що піддається удару молотка:

$$V = \frac{\pi \cdot a \cdot b \cdot h}{6} \cdot z$$

де a, b, h – розміри зерна;

z – значення кількості зерна, які піддаються удару одним молотком.

Якщо здійснити спрощення (2.12):

$$\left(\frac{m + m_z \cdot k_g}{m + m_z}\right)^2 \approx 1$$

Отримаємо значення критичних швидкостей при ударі:

$$v_{кр} = \sigma_{кр} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot l_c \cdot a \cdot b \cdot h \cdot z}{6 \cdot m \cdot l_{зв} \cdot E}}$$

або:

$$v_{кр} = \frac{\sigma_{кр} \cdot l_c}{k_g} \sqrt{\frac{V}{J_A \cdot E}} \quad (2.45)$$

2.4 Аналіз визначення потужності при подрібненні сільськогосподарської продукції

Із виразу визначення критичних швидкостей руйнування сільськогосподарської продукції визначають значення потужності, яка необхідна для подрібнення сільськогосподарської продукції

$$P_{\pi} = v_{\kappa\varphi} \cdot F \cdot \eta \quad (2.46)$$

де $v_{\kappa\varphi}$ - значення критичної швидкості при ударному руйнуванні сільськогосподарської продукції;

F - зусилля яке необхідне для руйнування;

η - значення коефіцієнта корисної дії молотка.

Якщо, $\sigma_{\kappa\varphi} = \frac{F}{S}$, то отримаємо:

$$P_{\pi} = \frac{F^2}{S} \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{l_c \cdot m_z \cdot z_c}{m \cdot l_{\text{зв}} \cdot E \cdot \rho}} \cdot Z;$$

або:

$$P_{\pi} = \frac{F^2 \cdot l_c}{S \cdot k_b} \cdot \sqrt{\frac{V}{J_A \cdot E}} \quad (2.47)$$

3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Завдання здійснення досліджень

Експериментальні дослідження здійснювались згідно перевірки та уточнень, зокрема теоретичні положення і закономірності, що визначені даною роботою, та стосуються відносних рухів молотків дробарки, впливів конструкційно-технологічних параметрів згідно режимів подрібнення, а також визначення зміни кінематичних і енергетичних показників у процесі експлуатації дробарки.

Практична перевірка запропонованої гіпотези передбачала розробку методик досліджень, обрано прилади для вимірювання та експериментальне обладнання, що забезпечують необхідну точність і відтворюваність результатів. Основна мета експерименту полягала у:

- перевірці достовірностей теоретичних залежностей відносних швидкостей молотків відносно показників лінійного співвідношення елементів ротора шляхом зіставлення теоретичних та експериментальних результатів;
- уточненні раціональних технологічних параметрів процесу подрібнення зернових матеріалів у зернових дробарках;
- визначенні інтервалу ефективних розмірно-масових і кінематичних характеристик молоткового ротора із шарнірно закріпленими молотками.

Оскільки теоретичні розрахунки були виконані із певними спрощеннями та допущеннями, проведення експериментальних досліджень мало на меті практичне уточнення отриманих параметрів і виявлення можливих відхилень при реальній роботі дробарки.

Експериментальна частина роботи здійснювалися в лабораторних умовах із використанням зерна пшениці, що відповідало таким характеристикам:

- вологість — 12,5–14,5 %;
- вміст смітних домішок — до 5 %;

- вміст пилу — до 0,26 % від загальної маси.

Дослідження були спрямовані на уточнення кінематичних параметрів руху молотків, визначення технологічних показників процесу подрібнення та оцінювання ефективності роботи дробарки при різних режимах навантаження. Отримані результати стали основою для математичної обробки даних і подальшого визначення раціональних діапазонів параметрів ротора, що забезпечують зниження енергоємності процесу при збереженні високої якості подрібнення.

3.2 Методика по визначенню раціональних режимів роботи, ступеня подрібнення та енергетичних показників

По визначенню конкретні значення по показниках лінійних співвідношень ротора, за яких досягаються максимальна швидкість молотка і мінімальний кут його відхилення у моменти початків ударів, була розроблена та використана експериментальна установка з маятниковим механізмом (рис. 3.1).

У маятнику міститься сталева кулька 16, підвішена на гнучкій капроновій нитці 15, яка моделювала молотки дробарки. Кулька кріпилася до диска із віссю 5 гвинтом, що забезпечувало можливість змінювати довжину самого маятника, а відповідно — і значення показника лінійного співвідношення між радіусом підвісу та зведеною довжиною молотка.

Сама вісь підвісу маятника встановлювалася в підшипниках ковзання, що забезпечували вільне обертання з мінімальним опором. З огляду на незначну масу нитки та кульки, маятник можна розглядати як математичний маятник, а відстань від осі підвісу до центра кульки — як приведену довжину молотка.

Для забезпечення обертального руху диска використовувався електродвигун постійного струму типу ПЛО-7-2 з номінальною потужністю 110 Вт, який підключався до мережі змінного струму через

напівпровідниковий блок живлення 11, а зміни швидкості обертання здійснювалося за допомогою лінійного автотрансформатора 10, який змінював напругу на обмотці ротора двигуна.

Швидкість обертання диска контролювалася за допомогою тахогенератора 13, з'єднаного з валом двигуна. Вихідний сигнал тахогенератора знімався вольтметром, що дозволяло фіксувати частоту обертання диска з маятником у режимі реального часу.

На поверхні диска була закріплена шкала кутових амплітуд коливань маятника 14, яка оберталася синхронно з диском. Її центр співпадав з віссю підвісу маятника, а нульова відмітка шкали розташовувалася на радіусі диска, що проходить через цю вісь. Для визначення положення маятника в просторі застосовувалася нерухома кругова шкала 8, змонтована на корпусі установки 1 разом із захисним кожухом 9.

Для спостереження за коливаннями маятника у момент удару використовувався стробоскопічний пристрій 6. При кожному оберті вала контактний механізм увімкнення 12, розташований на рухомому текстолітовому кільці, замикав електричне коло стробоскопа. У цей момент безінерційна лампа стробоскопа короткочасно висвітлювала диск і маятник, створюючи ефект "зупиненого кадру" для фіксації миттєвого положення системи.

Для моделювання процесу удару молотка об матеріал, що подрібнюється, застосовувався механізм створення опору 2 (рис. 3.4). Він складався з гумової пластини, закріпленої на гвинті з можливістю вертикального переміщення за допомогою регульовальної гайки 6 (рис. 3.2). Зміною висоти пластин забезпечувався удар кульки маятника по різних її ділянках, що дозволяло імітувати реакцію матеріалу різної жорсткості під час подрібнення.

Таким чином, розроблена установка дозволила визначити вплив довжини маятника (аналогічної довжині молотка) та лінійного

співвідношення елементів ротора на кінематичні параметри руху, кути відхилення та швидкість удару, що є ключовими чинниками ефективності процесу подрібнення у дробарках.

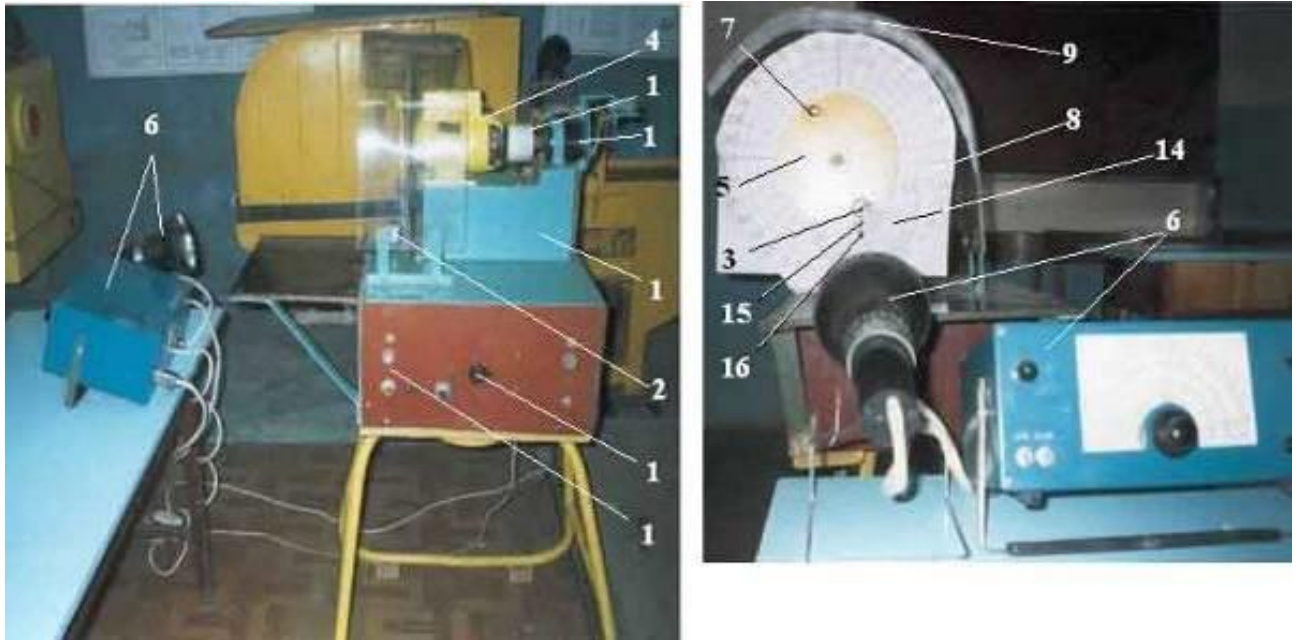


Рисунок 3.1 - Установка для дослідження коливань моделі молотка:

1 - корпус приладу; 2 - механізм створення опору; 3 - поворотна вісь підвісу; 4 - електродвигун; 5 - диск; 6 - тахометр стробоскопічний 2ТСт 32-456; 7 - протизавага; 8 - нерухома шкала; 9 - захисний кожух; 10 - регулятор частоти обертання диску; 11 - напівпровідниковий блок живлення; 12 - механізм вмикання лампи; 13 - тахогенератор; 14 - шкала відхилення моделі молотка (математичного маятника); 15 - нитка маятника; 16 - стальна кулька
було проведено серію дослідів на спеціально розробленій і виготовленій установці.



Рисунок 3.2 - Дослідження руху моделі молотка $k_L = 4$:

1 - модель молотка (математичний маятник), 2 - шкала кутового відхилення моделі молотка, 3 - шкала кутового положення осі підвісу моделі молотка, 4 - захисний кожух, 5 - диск, що обертається, 6 - механізм створення опору, 7 - опорний стіл

Значення відстані $r_o = 0,09\text{м}$, $l_{3\phi} = 0,0225; 0,030; 0,040; 0,060\text{м}$, k_L відповідно 4; 3; 2,25; 1,5. Значення кутової швидкості обертання w_e диска при

$$\text{постійній величині } \frac{mv^2}{2} = \frac{m \cdot (r_o + l_{3\phi})^2 \omega_e^2}{2}.$$

При $l_{3\phi} = 0,030\text{м}$, $w_{e30} = 104,7 \text{ c}^{-1}$ ($n = 1000$ об/хв), а $w_{e22,5} = 111, \text{ c}^{-1}$, $w_{e40} = 96,6 \text{ c}^{-1}$, $w_{e60} = 83,8 \text{ c}^{-1}$, $w_{e90} = 69,8 \text{ c}^{-1}$.

А при $l_{3\phi} = 0,040\text{м}$ ($k_L = 2,25$), $w_e = 733; 104,7; 125,6; 175,1 \text{ c}^{-1}$. $w_e = 30$ Отримали:

$$\frac{m(r_o + l_{3\phi})^2 \omega_e^2}{2} = \frac{(0,09 + 0,03) \cdot 104,8^2}{9,81} \approx 13,7 \text{ раз,}$$

Оцінка якісних показників роботи дробарки та ефективності подрібнення згідно із різними значеннями коефіцієнтів лінійних співвідношень ротора застосовували ситові класифікатори кулісного типу (рис. 3.4).

Класифікатор призначався для здійснення гранулометричного аналізу подрібнювального матеріалу, що дозволяє визначити фракційний склад частинок після подрібнення та оцінити рівномірність процесу.

Конструктивно класифікатор складається із мотор-редуктора, який включав електродвигун постійного струму типу 2ПП-40 потужністю $N=70$ Вт, із номінальною частотою обертання валу $n=4100$ об/хв та черв'ячного редуктора з передавальним числом $U=51$. На вал редуктора був насаджений кривошип із пальцем, що взаємодіяв з кулісою, у прорізі якої цей палець переміщувався, перетворюючи обертальний рух у зворотно-поступальний.

Продовження куліси було з'єднане з паралелограмним механізмом, ведучою ланкою якого виступала сама куліса, вертикальною — набір лабораторних сит, горизонтальною — коромисло, а нерухомою — стійка, закріплена на корпусі установки. Всі ланки паралелограмного механізму були шарнірно з'єднані пальцями, що забезпечувало плавність руху та рівномірність коливань сит.

Механізм кріплення сит дозволяв швидко змінювати кількість та послідовність сит у наборі, що полегшувало проведення серії дослідів із різними параметрами. Стійка була встановлена на кришці основи класифікатора, усередині якої розміщувався лінійний автотрансформатор.

Регулювання частоти обертання двигуна здійснювалося шляхом зміни напруги на його обмотках за допомогою автотрансформатора. Підключення двигуна виконувалося через трансформатор з напругою у вторинній обмотці 24 В і випрямляючий місток, що забезпечувало стабільне живлення. На панелі розташовувалися тумблер для вмикання двигуна та неонові лампа-сигналізатор, яка вказувала на робочий стан установки.

Амплітуда коливань сит регулювалася зміною радіуса кривошипа, для чого на його корпусі були передбачені кілька отворів із фіксованими значеннями радіуса $r=0,020, 0,030, 0,040, 0,050$ м. Врівноваження системи

забезпечувалося противагою, розташованою на кінцях куліси та коромисла. При роботі двигуна кривошип, обертаючись разом із валом, передавав кулісі та ситовому блоку інтенсивні зворотно-поступальні коливання.

Проведення ситового аналізу здійснювалося з метою визначення гранулометричного складу продукту подрібнення у такій послідовності:

Увімкнути електродвигун класифікатора та за допомогою автотрансформатора встановити задану частоту обертання відповідно до програми експерименту.

Вибрати необхідну амплітуду коливань сит, встановивши палець кривошипа у відповідний отвір.

Переконатися в роботі електродвигуна за сигналом неонові лампи.

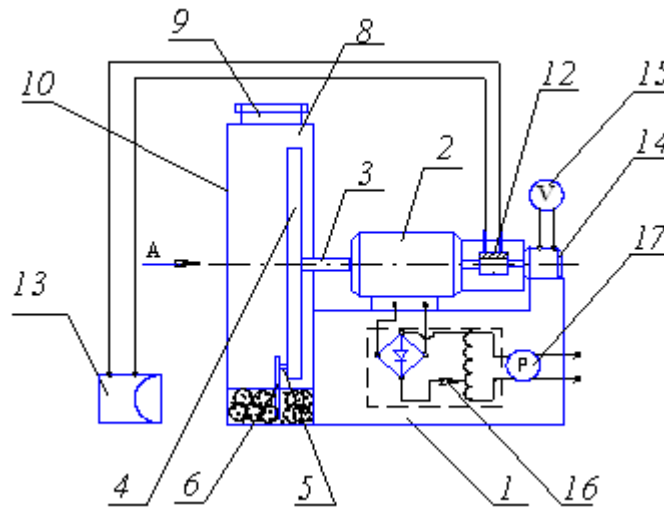
Завантажити зернову суміш у верхню частину установки через приймальну горловину.

Під час роботи спостерігати за коливаннями сит, визначаючи амплітуду їх руху та рівномірність розподілу частинок.

Після завершення роботи провести гранулометричний аналіз отриманих фракцій, використовуючи набір сит із різними діаметрами отворів.

Занести до протоколу дані про амплітуду коливань, фракційний склад матеріалу та ефективність процесу подрібнення при заданих умовах.

Отримані результати дозволили визначити залежність ефективності подрібнення від конструктивних параметрів молоткового ротора та встановити оптимальні режими подрібнення зернових матеріалів при різних коефіцієнтах лінійних співвідношень.



Вид А

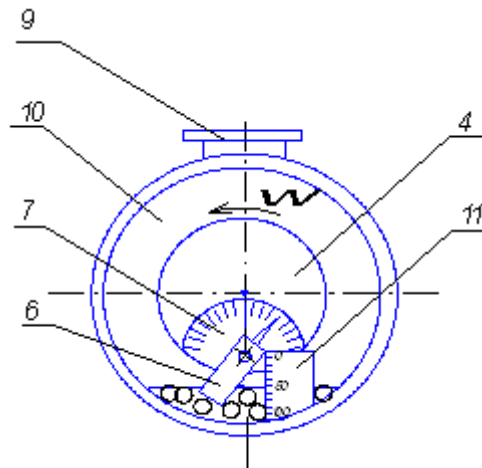


Рисунок 3.3 - Схема стану для дослідження роботи малогабаритного подрібнювача зерна:

1 - корпус, 2 - електродвигун, 3 - вал, 4 - диск, 5 - вісь маятника, 6 - молоток, 7 - шкала кутових відхилень, 8 - кожух, 9 - горловина, 10 - передня стінка, 11 - шкала товщини шару, 12 - механізм замикання контактів. 13 - стробоскоп, 14 - тахогенератор, 15 - вольтметр, 16 - джерело живлення, 17 - прилад К - 505

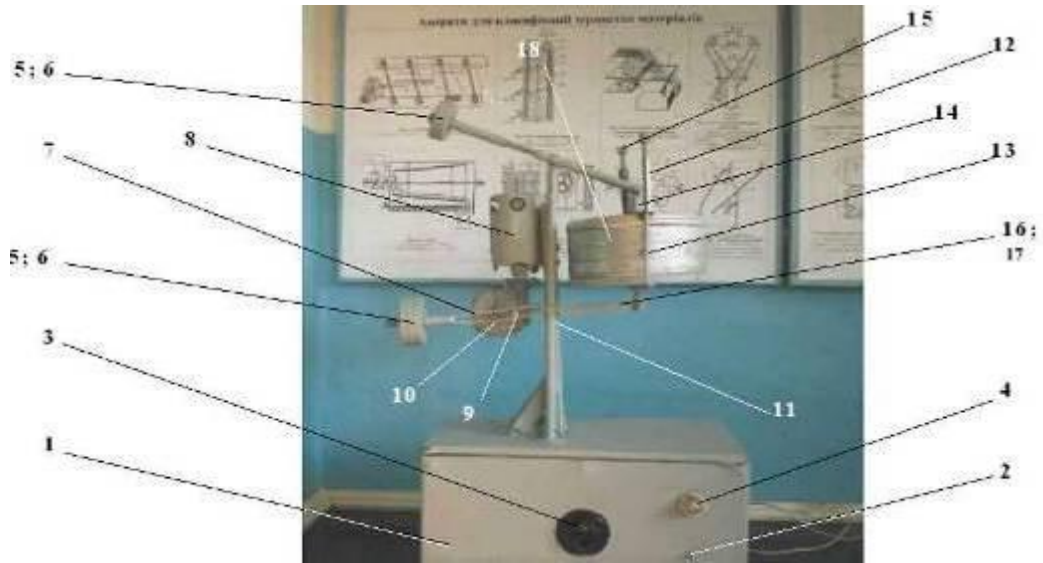


Рисунок 3.4 - Ситовий кулісний класифікатор для гранулометричного аналізу зернового матеріалу після подрібнення: 1 - підставка; 2 - тумблер, 3 - регулятор автотрансформатора; 4 - лампа сигнальна; 5 - противага; 6 - гайка; 7 - куліса; 8 - електродвигун; 9 - палець кривошипа; 10 - кривошип; 11 - стійка; 12 - втулка; 13 - стрижень; 14 - поперечка; 15 - гайка-баранчик; 16 - палець; 17 - коромисло; 18 - ситовий набір

Ситовий аналіз проводиться для визначення ефективності та основних параметрів процесу подрібнення зерна в наступній послідовності:

1. Запустіть електродвигун та налаштуйте частоту обертання відповідно до програми експерименту за допомогою лінійного автотрансформатора.

2. Виберіть необхідний радіус кривошипу, розмістивши палець кривошипу у відповідному отворі для досягнення потрібної амплітуди коливань сит.

3. Включіть неонову лампочку для сигналізації роботи електродвигуна.

4. Завантажте зернову суміш у верхню частину класифікатора через горловину.

5. Під час роботи електродвигуна спостерігайте за процесом подрібнення та визначайте амплітуду коливань сит та їхню ефективність.

6. Проведіть гранулометричний аналіз зернової суміші, використовуючи різні сита.

7. Запишіть дані щодо амплітуди коливань, гранулометричного складу та ефективності подрібнення.

Цей процес дозволяє отримати важливі дані щодо якості та ефективності подрібнення зернової суміші при різних умовах.

Послідовність проведення дослідження:

1. Відбір проб 0,100 кг.
2. Зважування лабораторними вагами типу ВЛКТ-500г.
3. Відбір комплекту сит: $\varnothing 1$ мм, $\varnothing 2$ мм і $\varnothing 3$ мм.
4. Для класифікатора встановлюють амплітуду коливань - 0,1 м, частоту коливань 110-120 хв-1, тривалість 3хв.
5. Досліди проводимо для кожної наважки
6. Зважуємо залишки на кожному ситі вагами типу ВЛКТ-500г.
7. Одержані результати вносимо у таблицю.
8. Розраховуємо масу кожної фракції в процентному вмісті B (%), середній розмір частинок d_i c_p визначається як середнє арифметичне діаметрів верхнього та нижнього сита:

$$d_{i.c_p} = \frac{d_{j.c_{\text{вх}}} + d_{j+1.c_{\text{вх}}}}{2} \quad (3.1)$$

9. Визначаєм ступінь подрібнення i згідно формули:

$$i = \frac{a_{\text{вх}}^{\text{вх}}}{a_{\text{вх}}^{\text{вх}}} = \frac{D_3}{M}; \quad (3.2)$$

де $a_{\text{вх}}^{\text{вх}}$ - значення середнього розміру вихідного продукту;

$a_{\text{вх}}^{\text{вх}}$ - значення середнього розміру подрібненого продукту;

D_3 – значення еквівалентного діаметру продукту:

$$D_3 = \sqrt{\frac{6V_3}{\pi}} = 1,24\sqrt{V_3} \quad (3.3)$$

та модуля подрібнення M згідно формули:

$$M = \frac{0,5m_0 + 1,5m_1 + 2,5m_2 + 3,5m_3}{100} \quad (3.4)$$

де m_0 - маса продукту яка знаходиться на днищі класификатора;

m_1, m_2, m_3 - маса продукту на 1, 2 та 3 ситах.

Згідно результатів будують графік залежності процентного вмісту різних фракцій і здійснюється оцінка відповідності якості подрібнення відносно модуля подрібнення (табл.3.1).

Таблиця 3.1 - Модуль помелу згідно вимог

Модуль помелу	Розмір часток, мм	Залишок на ситі, %	
		3 отворами Ø 3 мм	3 отворами Ø 5 мм
крупний	2,60 - 1,80	Не більше 35	Не більше 5
середній	1,80 - 1,00	Не більше 12	Не допускається
дрібний	1,00 - 0, 20	Не більше 5	Не допускається

Оцінка ефективності роботи досліджуваного подрібнювача передбачає введення узагальнюючого показника, який здійснює відображення не тільки вміст кондиційних часток щодо загальної маси подрібненої суміші, а також питомі витрати енергії для здійснення процесу подрібнення.

Визначення питомих витрат енергії на процес подрібнення, визначають згідно рівняння:

$$\Pi_{\varepsilon} = \frac{N \cdot t}{m}, \quad (3.5)$$

де N - значення потужності на привід подрібнювача,

t - значення часу роботи подрібнювача,

m — значення маси сільськогосподарської продукції, яка подрібнювалась.

Значення ефективності роботи подрібнювача оцінюється відносними показниками ефективності роботи ротора:

$$E_p = \frac{\Pi_E}{K_{\text{отт}}} \quad (3.6)$$

Значення показника ефективності роботи досліджуваного подрібнювача прямо пропорційно залежить від енергоємності самого процесу та обернено пропорційне коефіцієнту якості подрібнення та відображає значення потужності затраченої на подрібнення одного кілограма сільськогосподарської продукції із кондиційними розмірами [кВт год/кг].

3.3 Методика проведення порівняльного аналізу по ефективностях роботи молоткових роторів

Дослідження виконувалися на експериментальній установці — дробарці із шарнірно закріпленими молотками. Конструкція цього типу дробарки забезпечує поєднання процесів удару та перетирання, що дозволяє ефективно подрібнювати зернові матеріали до необхідного ступеня дисперсності.

Основними складовими частинами подрібнювача є робоча камера, живильний і відвідний патрубки, молотковий ротор, електродвигун, клинопасова передача та рама (рис. 3.5).

Дробарка, та їх функції:

- Робоча камера — являє собою сталевий корпус із кришкою, усередині якого відбувається процес подрібнення зернових матеріалів. Конструкція забезпечує надійність, герметичність і зручність технічного обслуговування.

- Живильні патрубки — призначений для рівномірної подачі зернової маси у верхню частину корпусу, а для контролю подачі матеріалу встановлюють мірне скло або дозувальний пристрій.

- Молоткові ротори — створює ударно-перетиральну дію на частинки матеріалу, забезпечуючи їх подрібнення.

- Електродвигун — асинхронний двигун потужністю $N=3$ кВт і частотою обертання вала $n=1410$ хв⁻¹.

- Клинопасова передача — слугує для передавання обертального моменту від електродвигуна до вала ротора та забезпечує можливість регулювання натягу пасів.

- Рама дробарки — зварна конструкція, на якій змонтовано корпус дробарки, встановлений на двох стійках, та електродвигун, розташований на полозках із можливістю переміщення для регулювання натягу пасів.

Даний тип дробарки застосовується для подрібнення зернових матеріалів у лабораторних та виробничих умовах. Він використовується для визначення ефективностей процесів подрібнення та оцінювання основних технологічних параметрів, що впливають на якість продукту й енергетичні витрати, а оптимізація параметрів роботи має важливе значення для підвищення ефективності й енергоощадності процесу.

Порядок проведення експериментальних досліджень

Послідовність виконання експерименту передбачала такі етапи:

Перший:

- Під'єднання вимірювального обладнання К-505 до електродвигуна дробарки для реєстрації споживаної потужності.

- Завантаження зернової маси у живильний бункер у кількості 1 кг.

- Визначення потужності при холостому ході електродвигуна із використанням К-505, без подачі матеріалу.

Другий:

- Процес подрібнення шляхом увімкнення електродвигуна.

- Відкрити дозуючу заслінку та одночасне вмикання секундоміра для фіксації тривалості процесу подрібнення.
- Вимірювання потужності електродвигуна під навантаженням протягом усього циклу роботи.
- Зупинку секундоміра в момент повного завершення подрібнення зернової маси.
- Здійснення розрахунків питомої витрати енергії на подрібнення згідно з виміряними параметрами потужності та часу.
- Здійснення побудови графічних залежностей продуктивності дробарки та питомих енерговитрат від результатів лінійного співвідношення ротора.
- Аналіз результатів коливань молотка, отриманих під час дослідження, із використанням установлених методик обробки експериментальних даних.





Рисунок 3.6 - Лабораторне місце для дослідження процесу подрібнення на дослідному малогабаритному подрібнювачі: 1 - живильний патрубок; 2 - шиберна заслінка; 3 - корпус; 4 - кришка подрібнювальної камери; 5 - захисний кожух; 6 - клинопасова передача; 7 - електродвигун; 8 - рама; 9 - стійки рами; 10 - відвідний патрубок; 11 - ніжки рами; 12 - опорний фланець подрібнювальної камери; 13 - стопорне кільце; 14 - палець; 15 - планки ротора; 16 - молотки; 17 - маточина ротора; 18 - прилад К - 50; 19 - ваги лабораторні

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати раціональних режимів роботи дробарки

Енерговитрати та якість ступеня подрібнення будуть залежати від показника лінійних співвідношень ротора досліджуваного подрібнювача:

$$k_L = r_o / l_{зв},$$

де r_o – значення радіусу підвісу молотка; $l_{зв}$ – значення зведеної довжина молотка.

Дослідження здійснювались по продуктивності подрібнювача від 60 до 120 кг/год.

Згідно графіка рис.4.1, значення потужності для здійснення подрібнення при $k_L = 2,25$ є меншою по діапазону досліджуваних режимів ніж при $k_L = 4$. Показник різниці по продуктивності від 60 до 120 кг/год, у середньому становить 13 %.

Згідно результатів проведених досліджень здійснено побудову графіка енергоємності роботи при $k_L = 2,25$ і $k_L = 4$ при подачі від 30 до 125 кг/год. (рис.4.2).

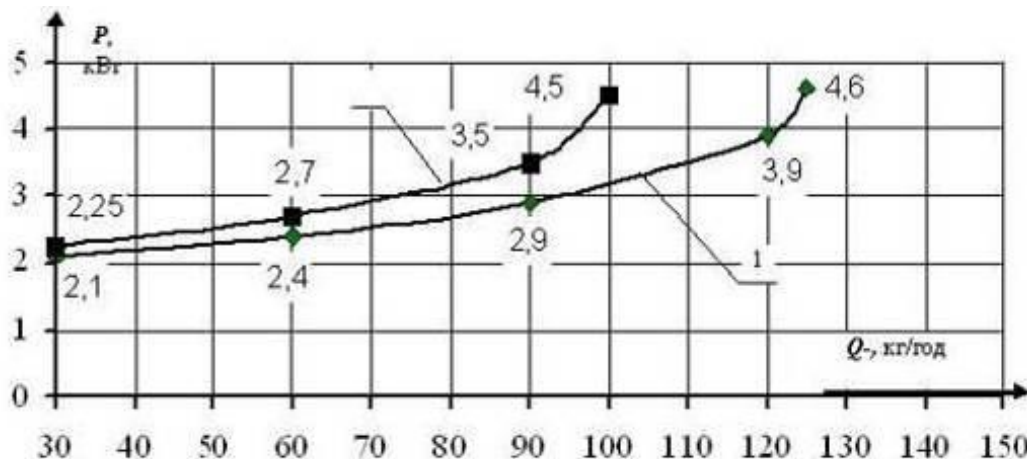


Рисунок 4.1 - Залежність потужності на подрібнення (P) від подачі (Q) при значенні параметра ротора:

1- $k_L = 2,25$; $l_{зв}$

2- $k_L = 4$

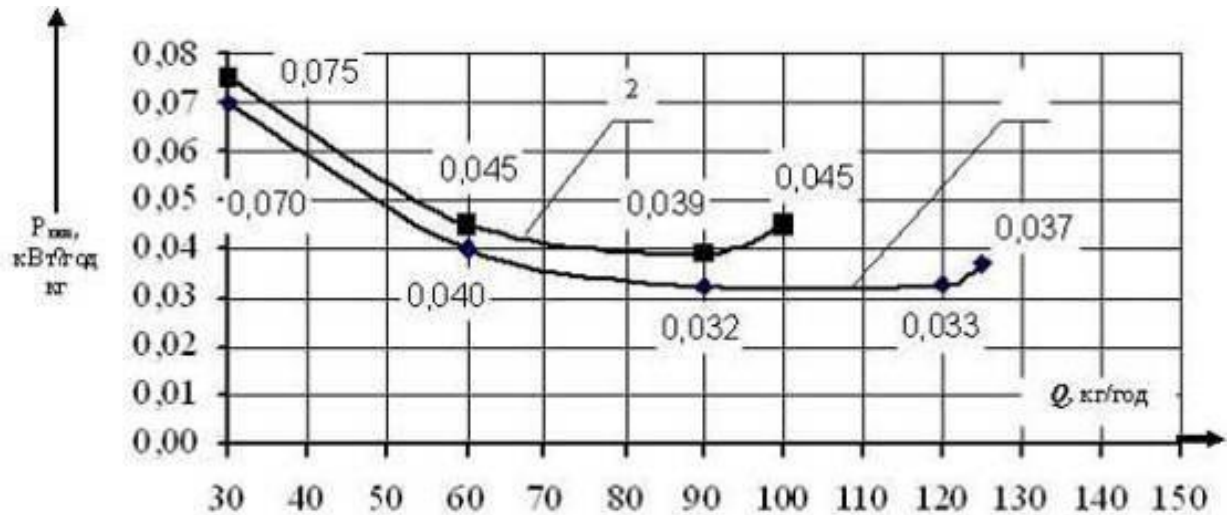


Рисунок 4.2- Енергоємність роботи подрібнювача ($P_{енер}$) при значенні параметра ротора:

$$1-K_L=2,25;$$

$$2-K_L=4$$

У таблиці 4.1 відображено результати випробувань.

Таблиця 4.1 - Результати випробувань малогабаритного подрібнювача зерна

Показник лінійного співвідношення ротора	Подача, кг/год					
	30	60	90	110	120	125
	Енергоємність, кВт·год/кг					
$K_L=2,25$	0,070	0,040	0,032	-	0,033	0,037
$K_L=4$	0,075	0,045	0,039	0,041	-	-

4.2 Результати порівняльного аналізу якісних показників

Результати щодо здійсненого ситового аналізу відображені у таблиці 4.2.

Графіки кривих розподілення фракційного складу подрібнених сільськогосподарських продуктів відображені на рис.4.3, 4.4 та 4.5.

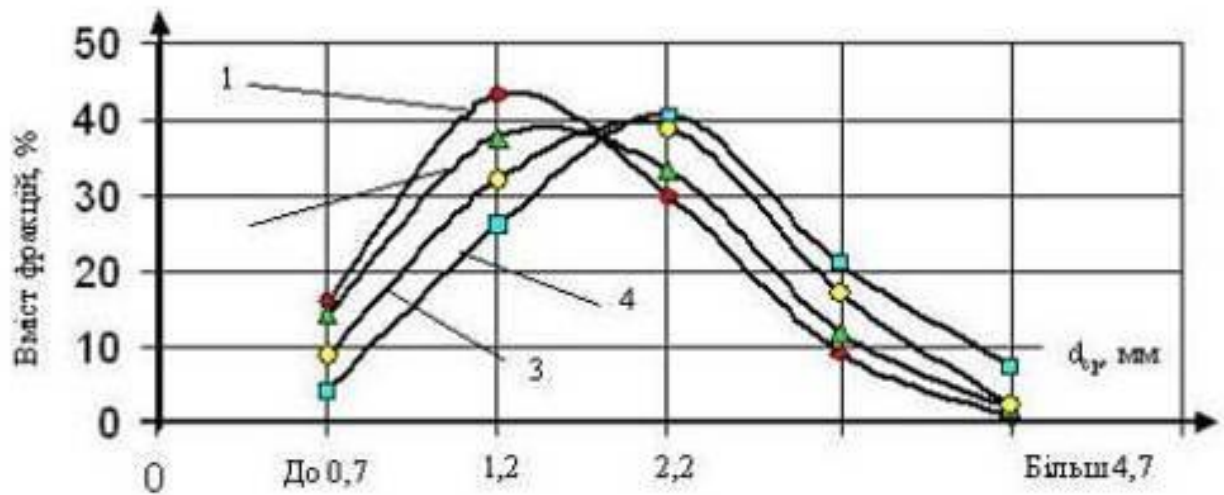


Рисунок 4.3 - Фракційний склад подрібненого зерна при роботі подрібнювача з показником ротора $K_L=2,25$

- 1 – решето з отворами $\varnothing 5,5$ мм,
 2 – решето з отворами $\varnothing 6,5$ мм,
 3 – решето з отворами $\varnothing 7,5$ мм,
 4 – без решета

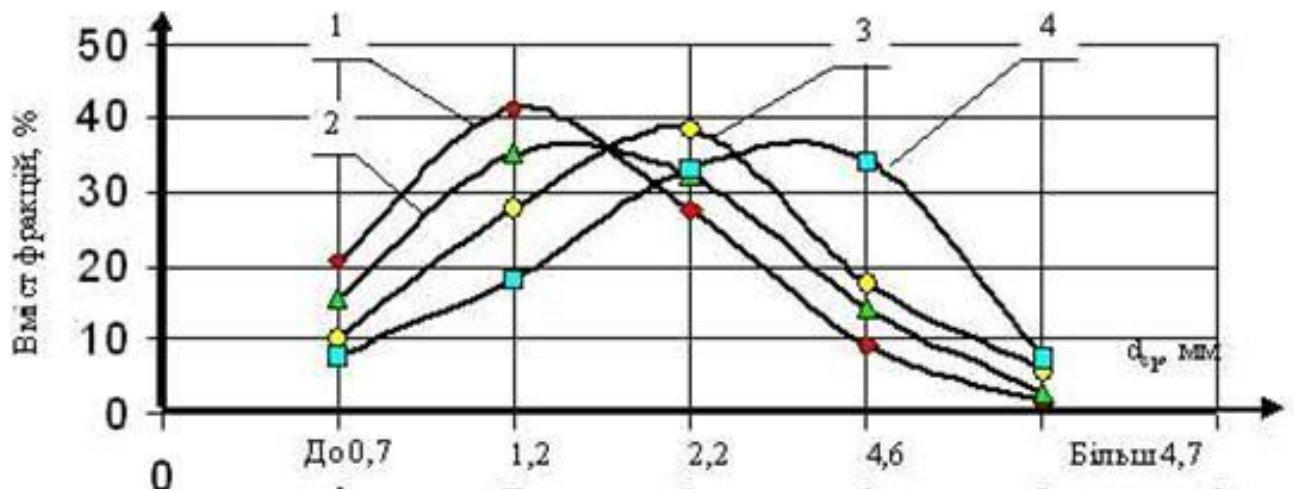


Рисунок 4.4 - Фракційний склад подрібненого зерна при роботі подрібнювача з показником ротора $K_L=4$

- 1 – решето з отворами $\varnothing 5,5$ мм,
 2 – решето з отворами $\varnothing 6,5$ мм,
 3 – решето з отворами $\varnothing 7,5$ мм,
 4 – без решета

Результати визначення середніх значень вмісту різних фракцій у подрібненому матеріалі масою 0,1 кг, та втрати не більше 1 %. Відображені на рис.4.5.

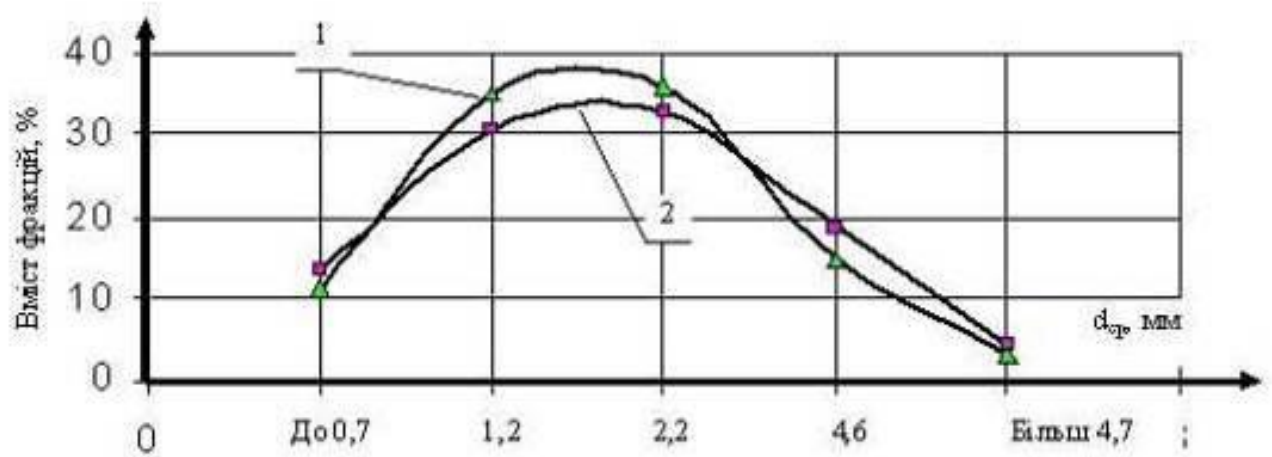


Рисунок 4.5- Середні значення фракційного складу подрібненого зерна при роботі подрібнювача з параметра ротора:

1- $K_L=2,25$;

2- $K_L=4$

Таблиця 4.2 - Результати ситового аналізу гранулометричного складу продуктів подрібнення

Номер решета дробарки	Розмір отворів сит класифікатора, мм	Середній розмір часток, мм	Залишок на ситі, % при значенні показника ротора	
			$K_L=2,25$	$K_L=4$
1	2	3	4	5
№ 1 Ø 5,5 мм	4,25	Більш 4,7	1	1,52
	2,5	4,6	9,31	9,23
	2	2,25	30,06	27,49
	1	1,2	43,38	41,12
	піддон	Менш 0,7	16,23	20,62
№ 2 Ø 6,5 мм	4,25	Більш 4,7	2	2,83
	2,5	4,6	12,12	14,27
	2	2,25	33,36	32,17
	1	1,2	37,90	35,09
	піддон	Менш 0,7	14,60	15,62

№ 3 Ø 7,5 мм	4,25	Більш 4,7	2,5	5,92
	2,5	4,6	17,22	17,67
	2	2,25	38,92	38,37
	1	1,2	32,31	27,73
	піддон	Менш 0,7	9,04	10,29
	4,25	Більш 4,7	7,70	7,57
Без решета	2,5	4,6	21,14	34,29
	2	2,25	40,67	32,08
	1	1,2	26,12	18,18
	піддон	Менш 0,7	4,35	7,86

Для раціонального вибору режимів роботи подрібнювача у таблиці 4.3 відображені основні характеристики

Таблиця 4.3 - **Порівняльний аналіз ефективності роботи молоткових роторів подрібнювача**

Показ- ник ротора κ_L	Серед- ній розмір часток, $d_{cp} \times 10^{-3}$ м	Вміст у наважці, $\times 10^{-3}$ кг	Вміст кондицій- них часток, $m_k \times 10^{-3}$ кг	Коефі-цієнт якості подрібнення, K_o	Середня енергоєм- ність, кВт · год/кг	Показник ефектив- ності роботи E_p , кВт·год/кг
$\kappa_L=2,25$	До 0,7	11,06	70,68	0,71	0,042	0,059
	1	34,93				
	2,2	35,75				
	4,6	14,93				
	4,8	3,30				
$\kappa_L=4$	До 0,7	13,60	63,06	0,63	0,050	0,079
	1	30,53				
	2,2	32,53				
	4,6	18,87				
	4,8	4,46				

Діаметр отворів решет має вплив на вихід готового продукту, а результати при (d_p) $\varnothing$ 5,5 мм, $\varnothing$ 6,5 мм, $\varnothing$ 7,5 мм та без решета відображені графіками рис.4.6.

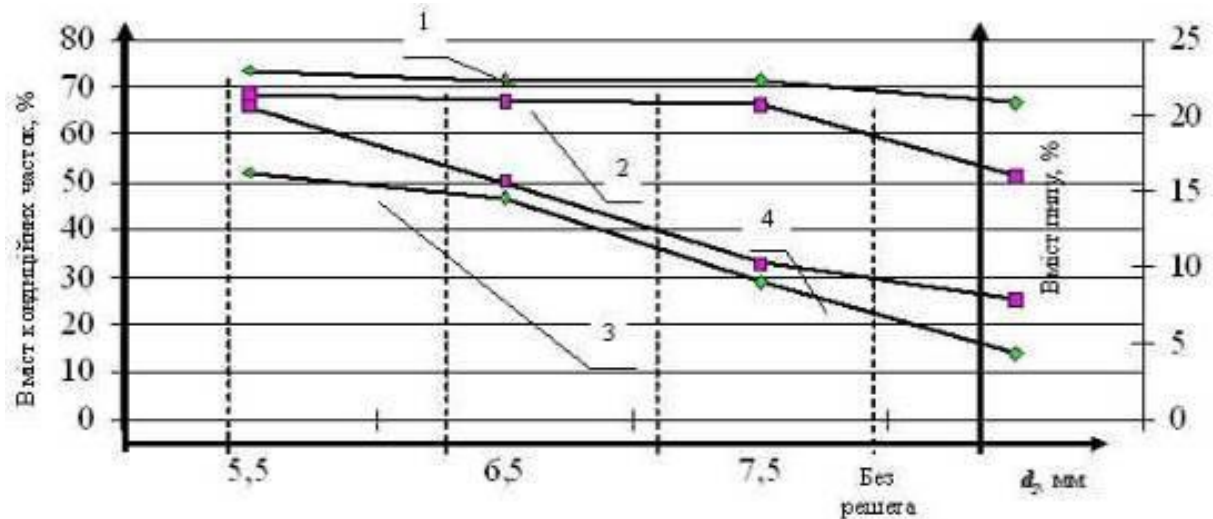


Рисунок 4.6- Залежність вмісту частинок з раціональними вимогами від діаметру отвору решета при 1- $K_L=2,25$; 2- $K_L=4$ і вмісту надмірно подрібнених частинок при 3- $K_L=2,25$; 4- $K_L=4$

Зміни розмірно-масових показників робочих елементів у процесі їх експлуатаційного зношування є важливим аспектом технічного аналізу, оскільки вона безпосередньо впливає на ефективність роботи дробарок, стабільність динамічних режимів та якість кінцевого продукту подрібнення. Така зміна зумовлена комплексом чинників, серед яких інтенсивність взаємодії молотка з матеріалом, фізико-механічні властивості подрібнюваної сировини, кінематичні параметри процесу та конструктивні характеристики матеріалу молотка, включно з його твердістю, тепловою обробкою та структурною однорідністю.

Згідно із результатами досліджень зміни моментів інерцій молотків під впливом зношування можна сформулювати такі узагальнені висновки:

Молотки типу КДУ-2 - спостерігається стабільне зменшення моментів інерції в межах 60 % відносно початкових показників, зокрема після спрацювання 4 робочих граней.

Така рівномірність зносу та прогнозована зміна інерційних характеристик свідчать про високу конструктивну надійність молотків та їхню добру зносостійкість, що позитивно позначається на однорідності процесу подрібнення та збереженні оптимальних енергетичних режимів.

Молотки типу АВМ-1,5 - зафіксовано різкі показники зменшення моментів інерції приблизно на 25 % уже після спрацювання 1 грані.

Після переустановлення та використання 2 робочої грані спостерігається часткове відновлення інерційних показників, однак подальше зношування знову призводить до зниження моменту інерції — до 33 % від початкового рівня.

Такі різкі коливання масо-інерційних параметрів можуть бути причиною нестабільності динамічного режиму ротора, погіршення якості подрібнення та зростання питомої енергоємності процесу.

Отримані результати свідчать про доцільність подальших досліджень, спрямованих на комплексну оцінку впливу різних конструктивних типів молотків на продуктивність та якість подрібнення з урахуванням їхньої зносостійкості. Особливу увагу варто приділити можливості оптимізації конструкції молотків шляхом зміни їх геометрії, матеріалу або способу термообробки з метою підвищення їхнього ресурсу та мінімізації негативних змін інерційних характеристик у процесі експлуатації.

Напрямок подальших досліджень також може передбачати:

- моделювання динаміки ротора з урахуванням різного ступеня зношування молотків;
- аналіз впливу варіативності мас молотків на вібраційні навантаження дробарки;
- розроблення адаптивних систем контролю зношування, що дозволять своєчасно коригувати режими роботи.

Реалізація таких підходів створить передумови для підвищення технологічної надійності молоткових дробарок, зниження енерговитрат та покращення якості подрібнення у сільськогосподарському виробництві.

Таблиця 4.4 - Значення показника приросту енерговитрат на подрібнення залежно від ступеню зношування молотків

Вид молотка подрібнювача	Показник приросту енерговитрат ΔP				
	новий	Зношені грані молотка n_i			
		1	2	3	4
КДУ - 2	1	1,01	1,07	1,13	1,22
АВМ - 1,5	1	1,02	1,05	1,23	1,25

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Аналіз виробничих небезпек на виробництві

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори у процесі трудової діяльності людини, відповідно до ГОСТ 12.0.003 – 74 поділяють на: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. При розробці заходів запобігання виробничому травматизму й захворюваності працюючих, спеціалістів найбільше цікавлять шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Небезпечні виробничі фактори поділяють на явні, якщо їх дія на людину очевидна і для її запобігання необхідні певні заходи і які потенційно можуть діяти на людину при певних її діях, виникненні аварій та в інших небезпечних умовах.

Так, спеціалісти в галузі безпеки праці стверджують, що виробнича небезпека – це загроза дії на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а виробнича шкідливість – дія на працюючого лише шкідливих виробничих факторів.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізняти поняття “нещасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нещасний випадок” пояснює достовірність факту виникнення травми, а тому його окремою подією вважати не можна.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактора. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну.

Вичерпні знання обставин, внаслідок яких виник нещасний випадок або може статися аварія, травм а чи більш важкі наслідки, необхідні для глибокого розуміння процесу зародження, нормування та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують травмам, аваріям, катастрофам.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;
- спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії та катастрофи, мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.5.1).

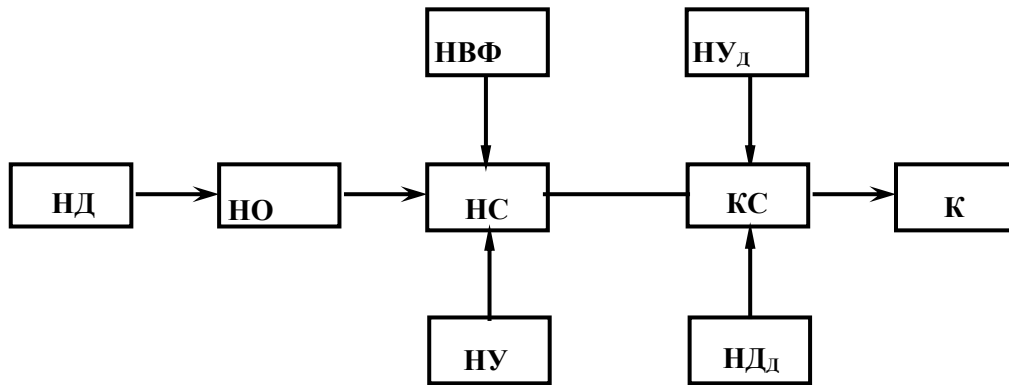


Рисунок 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій

НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини; НС-небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична ситуація; НУд-небезпечні умови додатково; НДд-небезпечні дії додатково; К-катастрофа.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає. Що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія(А), травми (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

5.2 Паспортизація санітарно-технічного стану і моделювання процесу виникнення травм та аварій

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення всіх, видів виробничої небезпеки для розроблення проєктів, інженерно-технічних та організаційних, рішень щодо створення безпечних і здорових умов праці.

Відповідно до типової структури сільськогосподарського виробництва (цех, дільниця, робоча зона бригади, робоче місце) одиничним елементом виробництва є робоче місце.

Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, що відображає три групи факторів трудової, санітарно-гігієнічної і технічної небезпеки.

Карта умов праці на робочому місці - це основа санітарно-технічного паспорту виробничої дільниці (бригади, майстерні, ферми тощо). До санітарно-технічного паспорта дільниці входить збірна інформація з карт умов праці на робочих місцях.

Складемо картку умов праці в комбикормовому цеху, яку зобразимо в таблиці 5.1.

Послідовність заповнення картки умов праці в переробному цеху:

- ГОСТ 12.1.005-88 визначається категорія робіт і оптимальні показники мікроклімату;

- за гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустима концентрація фактора (ГДК, ГДР), які заносяться в графу 2 таблиці 5.1; для кожного фактора умов праці проводиться за загально прийнятою методикою інструментальний замір фактичного значення фактора. Деякі фактичні дані можна взяти з матеріалів попередньо проведеної паспортизації у інженера з охорони праці господарства;

- визначається коефіцієнт нормо-забезпеченості:

$$K_n = 1 \pm \frac{A_B + A_H}{A_H}, \quad (5.1)$$

де A_B – виміряне значення фактора умов праці; A_H – нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за гранично допустимим значенням нормативного параметра A_H ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_H . Результати заносимо в гр. 5 таблиці 5.1.

Гранично допустиме значення коефіцієнта нормо забезпечення має дорівнювати одиниці. Якщо воно менше одиниці, то це означає, що діючий фактор умови праці вищий за гранично допустимий рівень і слід вжити заходів для зниження дії цього фактора, тим самим поліпшити умови праці.

Карта умов праці Таблиця 5.1

№ фактора	Фактори умов праці	Нормативне значення фактора		Фактичне значення фактора умов праці Ав	Коеф. Нормо забезпечення Кн.	Час дії фактора		Коеф. небезпечності	
		ГДК, ГДР Ан	Нормативний документ			В год.	Тдф	Кдф	К
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Температура повітря	- 14	ГОСТ 12.1.005-88	0 – (-10)	0.71	8	1	0.71	0.089
1.1	взимку	+ 26	ГОСТ 12.1.005-88	25 – 30	1.13	8	1	1.13	0.14
1.2	влітку	40-60	ГОСТ 12.1.005-88	50	1.25	8	1	1.25	0.16
2	Вологість повітря, %	0,3	ГОСТ 12.1.005-88	0,2	0.7	8	1	0.7	0.088
3	Швидкість руху повітря, м/с	80	ГОСТ 12.1.003-86	80 – 82	1.03	4	0.5	0.515	0.064
4	Виробничий шум, дБ	99	ГОСТ 12.1.012-78	95	0.95	4	0.5	0.475	0.059
5	Вібрація загальна, дБа								
6	Освітлення:								
6.1	природне, %	70	СНиП 2-4-79/85	75	1.07	8	1	1.07	0.134
6.2	штучне, Лк	95	СНиП 2-4-79/85	96	1.01	8	1	1.01	0.126
7	Пил, мЛг/м³								
7.1	зерновий	3-4	ГОСТ 12.1.005-88	3	1	6	0.75	0.75	0.094
8	Робота стояча, %	30	ПІГІСНИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРАЦІ	35	1.16	6	0.75	0.87	0.109

Відповідно до технології виконання виробничого процесу встановлюється тривалість дії кожного фактора і результати заносяться у гр. 7 і 8 табл. 5.1.

Визначається коефіцієнт небезпеки дії $K_{дф}$ від кожного фактора умов праці і від усіх діючих факторів K .

Ці коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$K_{дф} = K_n * T_{дф}; \quad (5.2)$$

$$K = \frac{K_{дф}}{n}; \quad (5.3)$$

де $T_{дф}$ - тривалість дії фактора; n - кількість факторів умов праці.

Результати підрахунків заносяться у гр. 9 і 10 табл. 5.1 – карти умов праці у подрібнювальному цеху.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявленні при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій. Але, як показали дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних аварій і катастроф. Обчислення рівняння небезпеки можна спрямувати на удосконалення конструкції технічних засобів, на зниження їх небезпеки, а також вживати термінових заходів для першочергового усунення небезпек з більш високим рівнем.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева відказів” та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так, побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм при роботі.

Основні принципи побудови моделі такі. Виявляється виробництво, на якому вже були раніше або можуть статися аварії, виробничі травми чи катастрофи. За своєю формою так модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву “дерево відказів і помилок”. Кінцеві події називають базовими.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.2).

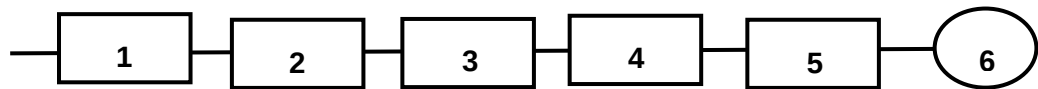


Рисунок 5.2 - Схема побудови логіко-імітаційних моделей:

1- головна подія; 2-5- проміжні події; 6- базова подія.

Кожен блок рисунку, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі:

- 1 – відмова (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2 – послідовність подій, що приводять до відмови системи;
- 3 – послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;
- 5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;
- 6 – базові події зображують у вигляді кружечків з написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі.

5.3 Розроблення логічно-імітаційних моделей процесів виникнення травм на виробництві

Проаналізувавши кожну із логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію з якої починається небезпечний процес ще до виникнення небезпечних наслідків.

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від досліджуваного явища.

Для оцінки рівня небезпеки певного об'єкта чи явища можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці. Основні його принципи полягають в тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель “дерева відмов і помилок оператора”. При цьому важливе значення має правильний вибір головної події.

Головну подію (травма), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як головна.

Після визначення відповідних травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми для випадку технологічного процесу виробництва складемо список базових подій. Вони лежатимуть у основі даної

моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Нижче подано сам список:

1. Стан контролю з охорони праці $P_1 = 0,2$;
2. Несерйозне відношення до проходження ТО $P_2 = 0,1$;
3. Відсутність комплектуючих $P_3 = 0,2$;
4. Невисока міцність $P_4 = 0,03$;
5. Застаріле обладнання $P_6 = 0,02$;
6. Попадання предметів з навколишнього середовища $P_7 = 0,4$;
7. Досвід роботи $P_{12} = 0,35$.
8. Професійний рівень робітника $P_{13} = 0,5$;
9. Психофізіологічний стан робітника $P_{14} = 0,083$;

На основі даного списку будуюмо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічне представлення якої зображено на рис. 5.3.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що входять у дану логіко-імітаційну модель процесу виробництва (на прикладі ймовірності травми робітника, пов'язаної з ударом корпусу дробарки).

Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,003 - 0,2 \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,1 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 = 0,314$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так: $P_{10} = 0,2 + 0,1 = 0,3$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,02 \cdot 0,314 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 0,00075$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,083 = 0,0145$$

Ймовірність події P_{18} : $P_{18} = 0,5 + 0,083 = 0,58$

Ймовірність події P_{19} : $P_{19} = 0,0145 \cdot 0,083 = 0,0012$

Ймовірність події P_{20} : $P_{20} = 0,00075 + 0,0012 = 0,00195$

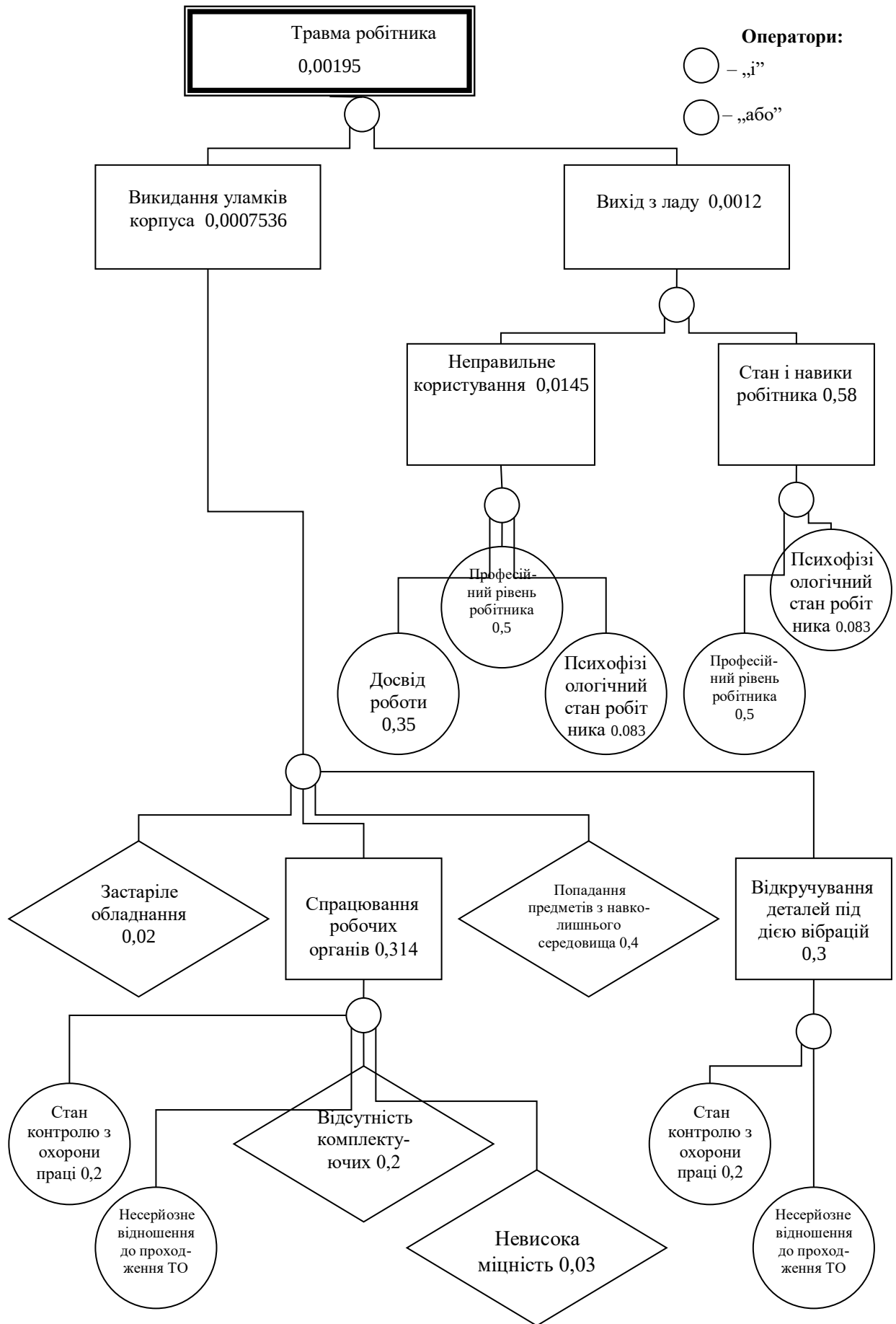


Рис. 5.3 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

Ймовірність травми рівна ймовірності виникнення аварії. Це пов'язано з тим, що остання можлива лише за умови контролю людиною роботи дробарки.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки будь-якого робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які охоплюють як стан обладнання і самого робочого місця, так і поведінку працюючого і обчислити ймовірність виникнення травми.

Після аналізу результатів моделювання ймовірність виникнення травми можна звести до дуже малої величини – достатньо зменшити вплив ймовірностей вихідних факторів, які до неї призводять.

5.4 Розроблення заходів по захисті населення

Забезпечення захисту цивільного населення у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань, яке покладається на службу з охорони праці.

Захист населення базується на державній системі заходів, що забезпечують виконання організаційних, інженерно - технічних, санітарно - гігієнічних та інших заходів в сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій природного характеру, які можуть виникнути на території підприємства належить: пожежа, ураган, смерч, землетрус, великі опади дощів.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитись спеціальний комплекс заходів, а саме:

- оповіщення та інформування населення про надзвичайну ситуацію, яка може виникнути;

- спостереження і контроль за довкіллям , продуктами харчування і водою;
- створення захисних споруд та укриття в них усього населення відповідно до приналежності (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечній зоні);
- проведення медичного захисту для зменшення ступеня ураження людей, своєчасне надання допомоги та лікування.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ

Реформування агропромислового комплексу України створило необхідні передумови функціонування нових більш економічно ефективних форм організації виробництва, зокрема фермерські господарства, сільськогосподарські виробничі кооперативи, малі підприємства і т.д.

Проблема забезпечення вище перерахованих малих господарських організаційних формувань (МГОФ) засобами виробництва на даний час є досить актуальною, оскільки існуючі прототипи обладнання не завжди задовольняють як необхідні так і достатні умови його використання. Високі ціни на енергоносії в сільськогосподарських підприємствах не дають змоги виробникам знижувати ціни на вироблену продукцію, що в результаті негативно відображається в першу чергу на споживачах. Отже, в сучасних умовах функціонування на перший план виходить розробка нових та удосконалення існуючих засобів, які б відповідали основам ресурсозбереження.

Модернізація існуючих засобів механізації, що вимагає порівняно невеликих капіталовкладень, приносить відчутний економічний ефект при збільшенні ефективності роботи машини. Вдосконалення молоткового подрібнювача шляхом встановлення ротора з показником лінійного співвідношення у межах 2,25-2,42 підвищує однорідність подрібнення зернового матеріалу та знижує питомі енерговитрати, при цьому показник ефективності роботи збільшується до 25 %.

Умови господарської діяльності мають певні особливості розрахунку економічної ефективності впровадження нової техніки [2, 16]. Для оцінки економічної ефективності використання подрібнювача малої потужності з модернізованим ротором, нами використано наступну методику розрахунку [18] для сільськогосподарських підприємств

6.1 Економічне обґрунтування модернізації існуючого обладнання.

Річна продуктивність буде складати 8000 кг/рік:

Визначення часу роботи обладнання

$$K_z = \frac{\Pi_{\text{кр}}}{\Pi_{\text{д}} \cdot (100 - K_{\text{в}})}, \quad (6.1)$$

де K_z - кількість годин роботи на рік, $\Pi_{\text{д}}$ - продуктивність подрібнювача, кг/год; $K_{\text{в}}$ - коефіцієнт втрат, %.

Після модернізації кількість пиловидних часток при подрібненні знижується порівняно з базовою моделлю, тому втрати сировини в середньому на 5% зменшуються.

Час роботи за рік для вдосконаленої моделі:

$$K_{\text{зм}} = \frac{80000}{100} = 800 \text{ кг/год};$$

для базової моделі:

$$K_{\text{б}} = \frac{80000}{100 \cdot 0,95} = 842,1 \text{ кг/год.}$$

Капіталовкладення визначаються по формулі:

$$K_{\text{в}} = K_{\text{р}} + K_{\text{м}} + K_{\text{н}} \quad (6.3)$$

де $K_{\text{р}}$ - вартість розробки та виготовлення запчастин для модернізації, грн.;

$K_{\text{м}}$ - вартість переоснащення подрібнювача, грн;

$K_{\text{н}}$ - вартість переналадки та навчання персоналу, грн.

Орієнтовно капіталовкладення складуть:

$$K_{\text{в}} = 1200 + 150 + 400 = 1750 \text{ грн.}$$

Грошові витрати на електроенергію

$$E_{\text{в}} = M_{\text{м}} \cdot K_z \cdot B_{\text{ен}} \quad (6.4)$$

де $M_{\text{м}}$ - встановлена потужність, кВт;

K_z - кількість годин роботи на рік;

B_{en} - вартість 1кВт електроенергії для сільськогосподарських виробників, приймаємо 7,85 грн. Тоді:

$$E_{em} = 3 \times 800 \times 7,85 = 4440$$

Для подрібнювача старої конструкції:

$$E_{em} = 3 \times 842,1 \times 7,85 = 4674$$

Витрати на оплату праці персоналу:

$$O_n = T_{cm} \cdot K_z \cdot K_p \quad (6.5)$$

де T_{cm} - годинна оплата праці, приймаємо 30 грн; K_z - кількість годин роботи за рік; K_p - кількість обслуговуючого персоналу.

Тоді для базової конструкції:

$$O_{nb} = 30 \times 842,1 \times 1 = 25263 \text{ грн},$$

Для модернізованої:

$$O_{nb} = 30 \times 800 \times 1 = 24000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E_p = (E_{em} - E_{eb}) + (O_{nb} - O_{nb}) \quad (6.6)$$

де E_{em} - енерговитрати використання модернізованого подрібнювача, грн;

E_{eb} - енерговитрати подрібнювача старої конструкції, грн;

$$E_p = (4674 - 4400) + (25263 - 24000) = 1537 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$T_o = 1,2 \text{ роки}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - Економічна ефективність модернізації існуючого подрібнювача

Показники	Базова конструкція	Запропонован а конструкція	Оцінка
Капіталовкладення, грн	-	1750	2150
Вартість спожитої електроенергії, грн	4674	4440	-274
Річний фонд оплати праці, грн	25263	24000	-1263
Річний економічний ефект, грн	1537		
Термін окупності, років	1,2		

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В магістерській роботі дано нове вирішення наукової задачі, яка полягає в підвищенні ефективності роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи робочого органу.

За результатами досліджень зроблено наступні висновки:

1. Встановлено, що найбільш ефективним для руйнування сільськогосподарської продукції в подрібнювачах є перший етап - початковий удар, оскільки час взаємодії складає $0,02-0,03\text{с}^{-1}$ і в'язкі властивості подрібнюваного матеріалу не проявляються.

2. Доведено, що для подрібнювача з радіальним завантаженням необхідною умовою ефективного ударного впливу на сільськогосподарську продукцію прямим ударом є здійснення молотком непарної кількості напівперіодів власних коливань за період обертання ротора, що забезпечується вибором відповідного значення показника лінійного співвідношення ротора з ряду переважних значень: 0,25; 2,25; 6,25; 12,25.

3. Визначено, що внаслідок зменшення маси, зміни положення центру мас і зведеної довжини при зношуванні молотків, витрати енергії на подрібнення зростають відповідно до зменшення моменту інерції, тому раціональним є експлуатація тільки першої і другої робочих граней до перетину лінії зношування з повздовжньою віссю молотка, оскільки при подальшій експлуатації потужність на подрібнення зростає на 22.24 %.

4. Виконана на основі теоретичних і експериментальних досліджень модернізація ротора подрібнювача з рекомендованими параметрами і режимами роботи забезпечує підвищення якості подрібнення в середньому на 12 % порівняно з базовими конструкціями (сумарна похибка вимірювань при гранулометричному аналізі під час експлуатаційно-технологічних випробувань складала не більше 1 %).

5. Ефективність роботи вдосконаленого ротора за комплексним відносним показником, який враховує масу подрібнених часток раціонального розміру (0,7-2 мм) у вихідному продукті і питому енергоємність роботи подрібнювача, підвищується на 25 % і становить 0,059 кВт год/кг проти 0,079 кВт год/кг базової конструкції.

6. Розрахунок економічної ефективності підтверджує необхідність впровадження подрібнювачів з раціональними параметрами ротора, оскільки мінімальний економічний ефект складає від 1537 грн. на рік, а термін окупності капітальних вкладень не більше 1,2 року знаходиться у науково - рекомендованих межах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дацишин О.В., Ткачук А. І, Чубов Д.С. та ін. Машини та обладнання переробних виробництв: Навч. Посібник // За ред. О.В. Дацишина. Київ: Вища освіта, 2005. 159 с.
2. ДСТУ ISO 11448: 2005. Дробарки та подрібнювачі приводні. Визначення понять, вимоги безпеки та методи випробування.
3. ДСТУ 3218-95. Машини сільськогосподарські. Дробарки. Методи випробувань.
4. ДСТУ 2421-94. Комбікорми. Терміни та визначення.
5. Маньківський А.Я., Скалецька Л.Ф., Подпрятков Г.І., Сеньків А.М. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Ніжин: Аспект, 1999. 383с.
6. Камінський В.Д., Бабиш М.Б. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник. – Одеса: Аспект, 2000. 460с.
7. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: Навч.посібник/ Л.Ф.Скалецька, Т.М.Духовська, А.М.Сеньков. Київ: Вища школа, 1994. 301с.
8. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: Навч. посібник/За ред.. Ю.Г.Леги. Київ:Либідь, 2004. 288с.
9. Харчова промисловість України: стан та перспективи / За ред. акад. НАН України І. Р. Юхновського. Київ : ФАДА, ЛТД, 2001. 197 с.
10. Гречкосій В.Д. Основи проектування технологічних процесів / В.Д.Гречкосій, Р.В.Шатров, В.І.Василюк, Л.О.Шейко // Ніжин: MILANIK, 2009. 111 с.
11. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник для студентів вищих закладів освіти/За ред..В.І.Бикова Київ:Либідь, 2000. 270с.

12. Теорія технічних систем / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2017. – 291 с. Харчова промисловість України: стан та перспективи / За ред. акад. НАН України І. Р. Юхновського. Київ : ФАДА, ЛТД, 2001. 197 с.
13. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві /І.І.Мельник, В.Д.Гречкосій, С.М.Бондар // Ніжин: Аспект – Поліграф, 2005. 192 с.
14. Мирончук В.Г. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, Л.О. Пушанко та ін. Вінниця.: Нова книга. 2004. 288 с.
15. Технологічний інжиніринг підприємств харчової галузі [Текст] : навч. посіб. / за ред. Я.Г. Верхівкера; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. Одеса : Освіта України, 2017. 144 с.
16. Мерко, І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. / І.Т. Мерко, В.О. Моргун. Одеса: Друк, 2001. 360 с.
17. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств: Навчальний посібник./В.Ф. Ялпачик, О.П.Ломейко, В.Г. Циб, Ф.Ю. Ялпачик та ін./Мелітополь: Видавничий будинок міської друкарні, 2014. 235с.
18. Мирончук В.Г. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, Л.О. Пушанко та ін. Вінниця.: Нова книга. 2004. 288 с.
19. Рожківський М.Ф. Нове покоління молоткових дробарок. // Техніка АПК. 2000. № 1. С.12 14.
20. Семкович О., Коруняк П. Теорія і розрахунок виливу сили опору робочого середовища на рух молотка дробарки. // Вісник Львівського державного аграрного університету. 2001. №5. С.166.
21. Сиротюк С.В. Механізація переробки та зберігання продукції рослинництва. Курс лекцій. Львів.: ЛДАУ. 2000. 250 с.