

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів подрібнювача
сіськогосподарської продукції”**

Виконав: студент VII курсу групи Аін-71

Спеціальності 208 „Агорінженерія”

(шифр і назва)

Бохонко Віталій Юрійович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: Буртак В.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Гуменюк Р.В.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

Обґрунтування параметрів подрібнювача сільськогосподарської продукції.

Бохонко Віталій Юрійович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені професора О. Семковича. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

70 с. текст. част., 23 рис., 8 табл., 21 джерела.

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	ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1	Характеристика машин та обладнання для подрібнення сільськогосподарської продукції	7
1.2	Аналіз наукових досліджень на сучасному етапі	9
1.3	Обґрунтування актуальності теми, мета та завдання роботи	16
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ		
2	ПОДРІБНЮВАЧА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	19
Теоретичний аналіз процесу подрібнення		
2.1	сільськогосподарської продукції у подрібнювачах із шарнірно закріпленими молотками	19
2.2	Аналіз допущень, які прийняті при проведенні досліджень	19
2.3	Аналіз досліджень кінетичної енергії молотка	20
2.4	Аналіз визначення критичних швидкостей руйнування сільськогосподарської продукції	24
2.5	Аналіз визначення потужності при подрібненні сільськогосподарської продукції	26
3	ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1	Програма та мета досліджень	27
3.2	Визначення раціональних режимів роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції	29
3.3	Визначення енергетичних показників при роботі подрібнювача сільськогосподарської продукції	31

3.4	Визначення ступеня якості подрібнення та критерії оцінки ефективності роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції	33
3.5	Здійснення порівняльного аналізу щодо ефективності роботи молотковим ротором	40
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЗДІЙСНЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	43
4.1	Раціональні режими роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції	43
4.2	Порівняльний аналіз стану якості подрібнення сільськогосподарської продукції	44
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ	50
5.1	Аналіз виробничої небезпеки на виробництві	50
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану і моделювання процесу виникнення травм та аварій	52
5.3	Розроблення логічно-імітаційних моделей процесів виникнення травм на виробництві	57
5.4	Розроблення заходів по захисті населення	61
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ	63
6.1	Економічне обґрунтування модернізації існуючого обладнання	64
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

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. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характеристика машин та обладнання для подрібнення сільськогосподарської продукції

Процес подрібнення широко застосовується в різноманітних галузях сільськогосподарського виробництва. Подрібнення визначається як процес розділення твердого тіла на частини різних розмірів шляхом механічного впливу, тобто дії зовнішніх сил, які переважають сили молекулярного зв'язку. Існують два методи подрібнення твердих тіл: просте і вибіркове.

Якщо подрібнюваний продукт має однорідний хімічний склад, і всі його частини мають приблизно однакові структурно-механічні властивості, то отримані частини твердого тіла однорідною сипкою масою, придатною для конкретного використання, вважають методом простого подрібнення.

У випадках, коли подрібнюване тверде тіло неоднорідне за хімічним складом і різні його частини мають різні структурно-механічні властивості, спрямовані дії (хімічні, біологічні, механічні) посилюють різницю властивостей між частинами твердого тіла. Застосовуючи різноманітні технологічні способи, можна подрібнити тверде тіло так, що при однаковому силовому впливі отримаються частинки різної величини та хімічного складу. Для досягнення цього результату зазвичай необхідно повторювати етап подрібнення кілька разів, послідовно виділяючи групи фракцій різної величини і якості після кожного етапу подрібнення. Такий метод подрібнення називають вибірквим. Вибіркове подрібнення є основним методом отримання борошна різних гатунків під час розмелювання готової до цього партії зерна пшениці.

Під час підготовки зерна до розмелювання використовують різницю у структурно-механічних властивостях його анатомічних частин. Для цього застосовують методи гідротермічної обробки зерна (ГТО), які допомагають

підкреслити особливості оболонок та ендосперму. Основна мета багатогатункового розмелювання полягає в максимальному вилученні ендосперму без подрібнення оболонок. Таким чином, при багатогатунковому розмелюванні широко використовують методи вибіркового подрібнення, змінюючи геометричні та кінематичні параметри вальців і регулюючи величину питомого навантаження на подрібнювальне обладнання. Оптимальні параметри подрібнювальних пристроїв створюють передумови для високої ефективності використання зерна та отримання більшого виходу вищого гатунку борошна [4, 5, 6, 15]. При виборі методу подрібнення та конструюванні робочих органів необхідно, передусім, враховувати фізико-механічні властивості зерна та інших продуктів і обирати такі методи впливу на перероблюваний матеріал, за яких руйнування може бути досягнуто з найменшими напруженнями і витратами енергії [1]. На (рис. 1.1, 1.2) представлено класифікацію та технологічні схеми існуючих подрібнювачів сільськогосподарської продукції.

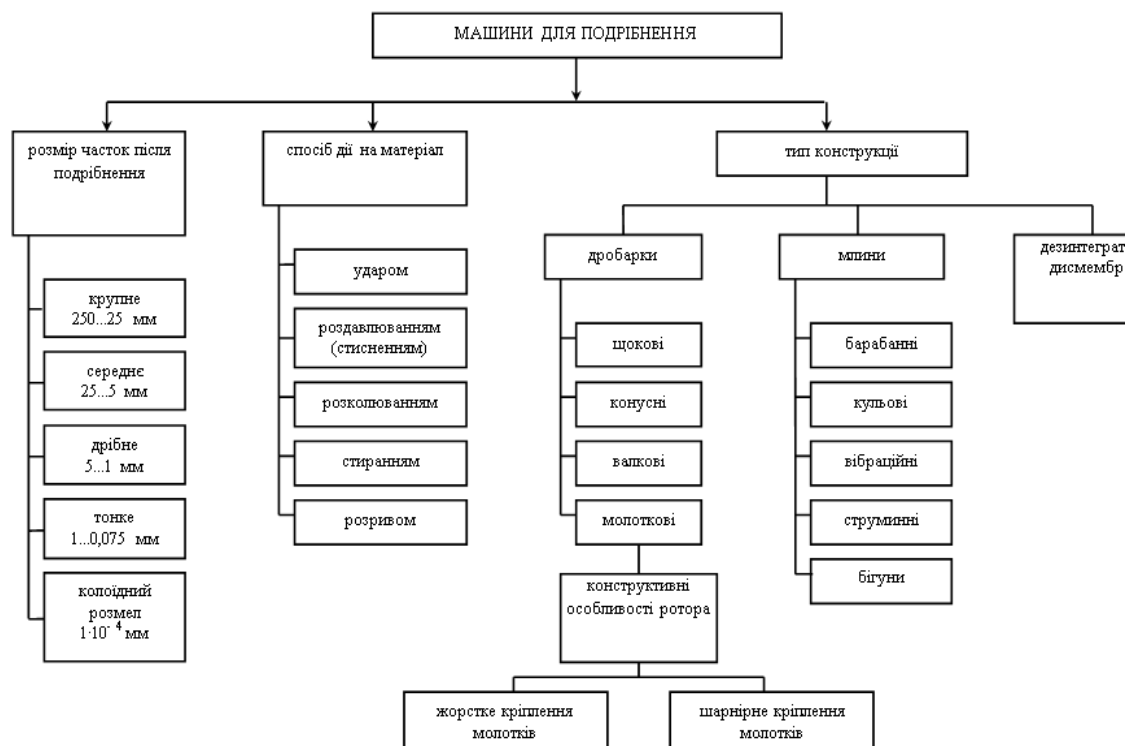


Рис. 1.1 - Класифікація подрібнювачів сільськогосподарської продукції

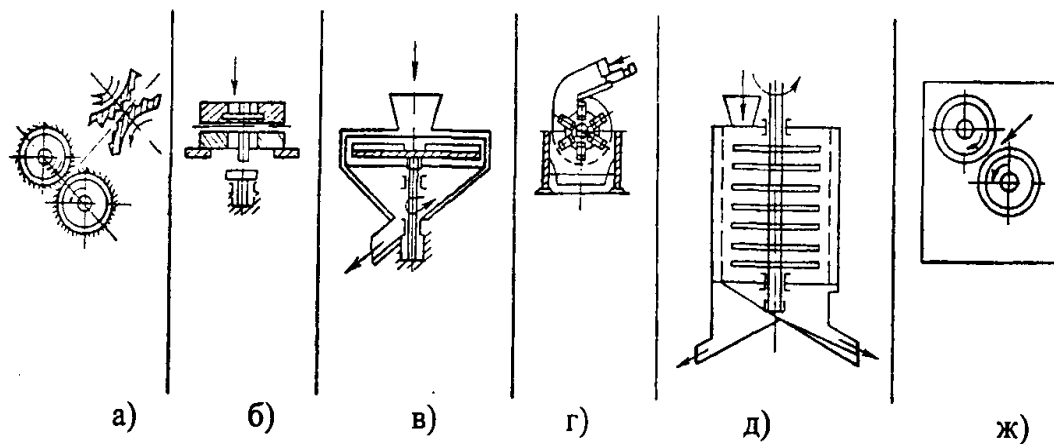


Рис. 1.2 - Схеми різних типів подрібнювачів сільськогосподарської продукції: а) схема вальцевого верстата; б) схема жорнового поставу; в) схема дискового подрібнювача; г) схема молоткової дробарки; д) схема бильної машини; ж) схема плющильного верстата.

Для розмелювання зерна та різноманітних компонентів комбикормів, враховуючи цільові результати процесу розмелювання, на різних етапах технологічного процесу використовують різноманітні подрібнювальні машини [7, 21].

Сучасні вальцеві верстати застосовують методи стиску та зсуву. У молоткових дробарках та ентолейтерах одночасно відбуваються удар і стирання. Деташери та бильні вимелювальні машини використовують стирання та удар для досягнення ефективного результату.

1.2. Аналіз наукових досліджень на сучасному етапі

Виробництво продуктів подрібнення вимагає врахування специфічних вимог до технологічного обладнання, яке застосовується в цьому процесі. Сукупність факторів, які впливають на ефективність роботи молоткових подрібнювачів, включає технологічні, механічні та конструктивні аспекти [2, 3, 9, 10, 16].

Дослідженням процесів зношування та підвищення довговічності робочих органів займаються вчені, такі як Бойко А.І., Сідашенко О.І. та інші. Суттєвий внесок у вдосконалення машин для подрібнення зробили Ревенко

І.І., Сироватка В.І., Ялпачик Ф.Ю., Коруняк П.С., Чурсинов Ю.О., Дацишин О.В. та інші [13, 14, 17, 20]. В їхніх наукових працях запропоновано різні підходи до підвищення ефективності використання молоткових подрібнювачів у сільськогосподарському виробництві.

Один із шляхів підвищення ефективності роботи полягає у використанні конструкторсько-технологічних методів для підвищення безвідказності та надійності. Результати досліджень призвели до впровадження змін у схему термічної обробки молотків та конструкцію привода. Рекомендації також стосуються уточнення номенклатури запасних частин та розрахунку введення до їх складу дек та підшипників. Запропоновано періодичність технічного обслуговування для механізмів і дробарок в цілому, що частково вирішує проблему безвідказної експлуатації існуючих моделей молоткових подрібнювачів на великих підприємствах.

Ще одним напрямком для поліпшення роботи подрібнювачів є вдосконалення конструктивної схеми [18]. Дослідження показали, що використання пружного підвісу з дисбалансом сприяє вібрації, що руйнує продуктово-повітряний шар, покращуючи відводження готового продукту та зменшуючи середні витрати потужності на подрібнення у молоткових дробарках.

Важливо відзначити, що зменшення витрат потужності, яке становить приблизно 5% згідно з автором, практично компенсується додатковими втратами потужності на привід дисбалансу, що становить близько 2.3%. Більше того, наявність вібрації негативно впливає на надійність роботи та міжремонтний ресурс деталей, вузлів та дробарки в цілому.

У роботах [11, 12, 19] представлено закономірності розмірів частинок та теоретичні обґрунтування параметрів подрібнювачів, включаючи динамічні режими руйнування зерна та рівняння руху молотка. Проведені експериментальні дослідження енергетичних показників відцентрового подрібнювача, визначено оптимальні режими роботи та встановлено

конструктивні параметри. Роботи [13, 20] присвячені огляду результатів теоретичних і експериментальних досліджень роботи подрібнювачів, включаючи теорію удару і ударного подрібнення, залежності від механічних властивостей та розмірів частинок подрібнювального матеріалу.

Параметри, які впливають на показники роботи зернових подрібнювачів, можна розділити на дві групи. Перша група включає конструктивні особливості, такі як діаметр і довжина ротора, кількість молотків на роторі, колова швидкість обертання ротора та тип сепаратора. До другої групи відносять параметри, що визначають властивості подрібнювального матеріалу та режим роботи подрібнювача, такі як коефіцієнт здатності матеріалу до розмелювання, розмір крупинок матеріалу перед та після подрібнення, вологість та інші.

Надалі розглянемо найбільш типові подрібнювачі зерна, зокрема вальцьові верстати типу А1-БЗН, які випускаються в різноманітних виконаннях для різних використань [21].

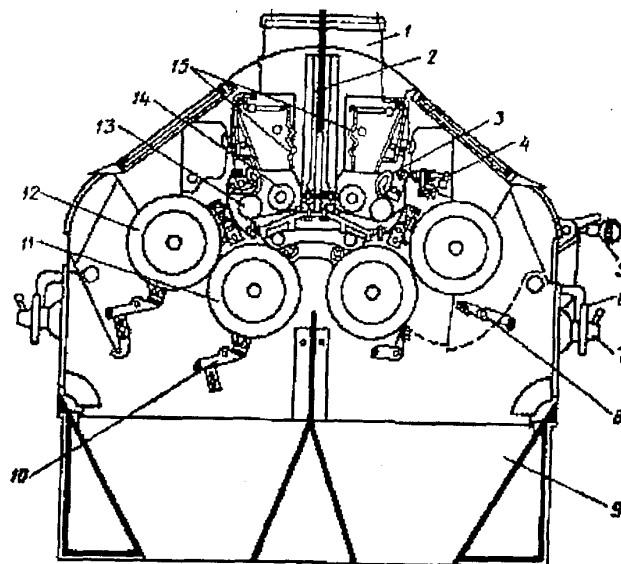


Рис.1.3 - Вальцьовий верстат А1-БЗН

Складається із 1 - приймальної труби; 2 - сигналізатора рівня; 3 - заслінки; 4 - гвинтового пристрою; 5 - регулятора; 6 - штурвала; 7 - штопорної головки; 8 - ножа-очисника; 9 - випускного бункера; 10 - щітки-очисника; 11 – тихохідного вальця; 12 – швидкохідного вальця; 13 -

механізму живлення; 14-шнека; 15 - шторки-давача.

Вальцеві верстати А1-БЗН спеціально призначені для використання в комплекті обладнання на нових борошномельних заводах і функціонують у взаємодії із системою пневмотранспорту.

Інерційний млин із конічною чашею (рис. 1.4) [1] складається з корпусу 1, обладнаного бункером 2 та вивантажувальним патрубком 3. Також в ньому присутня напівмуфта 4, яка закріплена на валу 5 та з'єднана гнучкими зв'язками (линвами 7) з котками 6. У котках 6 линви 7 закріплені на упорному підшипнику 8, що встановлений на пружній (гумовій) втулці 9. Напівмуфта 4, разом із фланцем 10, валом 5, пружиною 11 і втулкою 13, утворює фрикційну муфту моменту, яку можна регулювати. Конічна чаша 14 встановлена з можливістю обертання в корпусі 1 та з'єднана пасовою передачею 15 із двигуном 16. Вал 5 також з'єднаний пасовою передачею 17 із двигуном 16, і при цьому передавальні відношення пасових передач 15 і 17 є різними. На бічній поверхні корпусу 1 розташоване сито 18. На внутрішній поверхні стінок корпусу 1 закріплені лопаті 19.

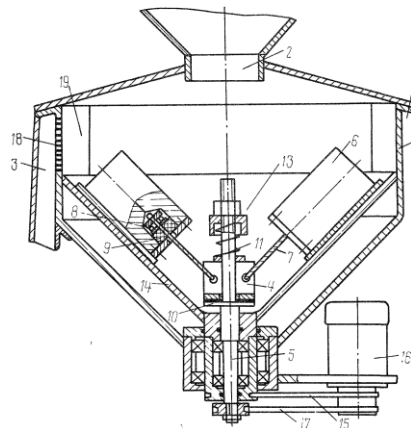


Рис.1.4 - Схема інерційного млина із конічною чашею

Даний тип млина у порівнянні із відомими має значно вищу надійність при виконанні процесів подрібнення сільськогосподарської продукції.

Розглянемо також дробарку фуражного зерна ДЗ-Т-1 (рис.1.5), яка використовується для подрібнення сільськогосподарської продукції у

фермерських та приватних підсобних господарствах.

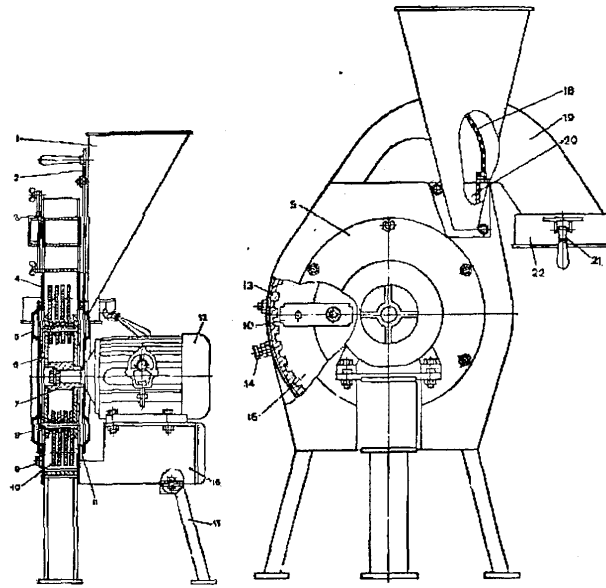


Рис.1.5 - Схема дробарки фуражної сільськогосподарської продукції

ДЗ-Т-1

Даний тип дробарки складається із 1 - завантажувального бункера; 2 – регулювальної заслінки; 3 - кришки люка у розподільній камері; 4 - корпуса; 5 - кришки корпуса; 6 - диска ротора; 7 - молоткового ротора; 8 - пальця; 9 – лючка у дробильній камері; 10 - молотків; 11 - прокладки; 12 - електродвигуна; 13 – нерухомої деки; 14—регулювального болта; 15 - дробильної камери; 16-опори; 17-ніжки; 18 — решета; 19 - розподільчої камери; 20 - вікна; 21 - мішкотримача; 22 - вивантажувального патрубка.

Переваги дробарки ДЗ-Т-1 включають:

а) Стійкість протікання процесу подрібнення різноманітних видів зерна протягом тривалого періоду експлуатації.

б) Надійність роботи при потраплянні сторонніх предметів у зерно (молоток відхиляється та знову повертається на місце після удару).

в) Простота конструкції робочих органів, що забезпечує значне напруження без їх відновлення або заточування.

г) Можливість регулювання якості подрібнення.

д) Регулювання проміжку між кінцями молотків і деками, що забезпечує оптимальні режими роботи дробарки.

е) Розміщення блоку конденсаторів і пускового пристрою в окремому виносному корпусі, що усуває вплив вібрації та підвищує надійність з'єднань в ланцюгах електроустаткування.

Недоліки дробарки ДЗ-Т-1 включають:

а) Відсутність індикатора, який контролює завантаження електродвигуна.

б) Використання конденсаторного електродвигуна, який не витримує навантажень і тривалої неперервної роботи та вимагає періодичних зупинок для охолодження.

в) При переробці забрудненого зерна спостерігається нестабільна подача його через завантажувальне вікно, у зв'язку з чим необхідно проводити додаткове регулювання подачі в процесі роботи дробарки.

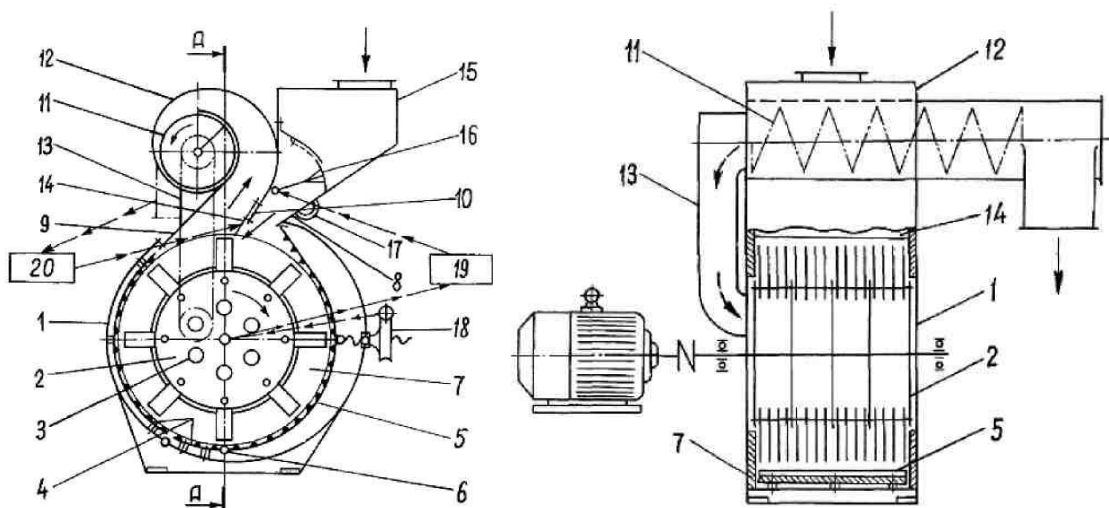


Рис. 1.6 - Схема прямочного безрешетного молоткового подрібнювача сільськогосподарської продукції (авт. свід. UA №12697, 2006р.)

Описаний подрібнювач працює наступним чином:

На холостому режимі подрібнювач вручну або системою автоматики відкриває регульовальну заслінку на величину, яка дорівнює оптимальному навантаженню головного електропривода подрібнювача. При цьому вихідний

матеріал із бункера через магнітний сепаратор і завантажувальний патрубок самопливом спрямовується назустріч обертанню молоткового ротора.

У процесі роботи вихідний матеріал піддається деформації та руйнуванню як від первинних ударів молотків на льоту, так і від зустрічного співударяння з молотками. Робоча маса направляється до рухомої частини деки, де вона додатково руйнується і відштовхується під повторні удари молотків, направляючись у коловий рух. Кільцеві виступи на внутрішніх бокових стінках корпуса неперервно направляють робочу масу під найбільш ефективну частину робочих органів, забезпечуючи однакову кількість ударів по всій робочій поверхні.

Потім ворох вивантажується ротором і відпрацьованим повітрям, що зменшує його швидкість і направляє за дотичною на верхню частину шнека. У внутрішній порожнині завитка за рахунок інерційності повітряного потоку і направлення витків шнека відбувається його сепарація на два протилежні потоки. Продукт помелу вивантажується шнеком назовні, а пилоповітряна суміш направляється у бік повітряного патрубку через аспіраційний потік і подається в центральну порожнину подрібнювальної камери. Там пиловидні частки з'єднуються з робочою масою і разом з продуктом помелу вивантажуються назовні, а повітряний потік з'єднується з робочою масою для наступного циклу.

Крупність помелу в робочому режимі подрібнювача регулюється за допомогою механізму 18, який змінює зазор між робочою поверхнею рухомої частини деки 5 і кінцями молотків. Зміна цього зазору впливає на крупність помелу, а також на продуктивність подрібнювача.

Наприклад, при збільшенні величини зазору крупність помелу збільшується, і відповідно зменшується навантаження головного електропривода дробарки. Система автоматики 19 може втрутитися в цей процес і збільшити подачу вихідного матеріалу для поновлення

навантаження головного електропривода. В результаті цього збільшується як крупність помелу, так і продуктивність подрібнювача.

Навпаки, зменшення зазору може призвести до зменшення крупності помелу та збільшення навантаження головного електропривода, що в свою чергу може викликати зменшення подачі вихідного матеріалу та зменшення продуктивності подрібнювача.

Такий механізм дозволяє регулювати якість та характеристики помелу в залежності від вимог технологічного процесу та обраного режиму роботи.

1.3 Обґрунтування актуальності теми, мета та завдання роботи

Розробка нових поколінь молоткових подрібнювачів та впровадження енергозберігаючих режимів роботи вимагають комплексного підходу і уваги до конструктивних співвідношень системи "барабан-молоток". Найбільш вдалим є встановлення систем управління приводом молоткових подрібнювачів, що може сприяти покращенню їхньої динаміки та зменшенню питомої енергоємності.

Однак, як ви правильно вказали, із зниженням витрат енергії на подрібнення може виникнути складність в управлінні, особливо при використанні складних електросхем. Крім того, важливо враховувати якість комплектуючих деталей, оскільки вона напряду впливає на надійність та безвідказність агрегату.

Процес оптимізації електросхем та вдосконалення конструкцій молоткових подрібнювачів повинен ґрунтуватися на ретельних дослідженнях і випробуваннях, враховуючи реальні умови експлуатації та вимоги до якості подрібнення.

Додатково, важливим є взаємодія із виробниками та використання передових технологій у галузі автоматизації та енергозбереження для забезпечення стійкої та ефективної роботи молоткових подрібнювачів.

Підвищення ефективності молоткових подрібнювачів є цілеспрямованим і враховує різні аспекти, включаючи конструкційні параметри, енергозберігаючі технології та аспекти обслуговування:

1) Важливо проводити сервісно-технологічні заходи для підвищення безвідказності та надійності роботи подрібнювачів.

2) Модернізація конструкції, встановлення додаткових пристроїв, таких як пружний підвіс корпусу чи дисбаланс ротора, можуть допомогти оптимізувати роботу та поліпшити ефективність.

3) Розробка нових конструкцій на основі раціональних режимів роботи враховуючи реологічні властивості сировини також є важливим етапом у підвищенні продуктивності та якості подрібнення.

4) Встановлення систем управління приводу для ведення енергозберігаючих режимів може бути важливим кроком для оптимізації роботи подрібнювача.

Гіпотеза, щодо підвищення якості та зниження енергоємності через вдосконалення молоткового ротора за допомогою дослідження динаміки руху молотка виглядає перспективною і може визначити нові рекомендації для практики.

Важливо також провести глибоке наукове дослідження, яке охопить всі аспекти та розробити практичні рекомендації, що допоможуть вирішити проблему зниження енергоємності сільськогосподарського виробництва в області подрібнення.

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

Згідно мети сформульовано наступні задачі досліджень:

1. Встановити закономірності відносного руху молотка як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили, а на їх основі - ряд переважних значень лінійного співвідношення елементів ротора з шарнірно закріпленими молотками;

2. Встановити залежність енергетичних показників процесу подрібнення від розмірно-масових параметрів молотків, в тому числі при зношуванні під час роботи;

3. Провести порівняльний аналіз якості подрібнення і ефективності роботи вдосконаленого молоткового ротора малогабаритного зернового подрібнювача відповідно до зоотехнічних вимог розміру часток після подрібнення;

4. Виконати виробничу перевірку і розробити рекомендації щодо підвищення ефективності роботи подрібнювачів з шарнірно закріпленими молотками.

Об'єкт дослідження –подрібнювач сільськогосподарської продукції.

Предмет дослідження – залежності показників процесу подрібнення сільськогосподарської продукції від параметрів роботи подрібнювача.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЮВАЧА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1. Теоретичний аналіз процесу подрібнення сільськогосподарської продукції у подрібнювачах із шарнірно закріпленими молотками

Під час аналізу наукових висновків, що стосуються функціонування молоткових подрібнювачів, було виявлено, що молотки, у процесі роботи, виконують коливальні рухи відносно осі підвісу [2, 8, 10, 20]. Очевидно, що відхилення молотків від радіального положення впливає на швидкість удару і розмір зазору між гранню молотка та декою подрібнювача. Крім того, в процесі роботи відбувається зношування молотків, що призводить до змін у їх геометричних параметрах, масі та положенні центра мас. Це призводить до зміни моменту інерції молотка та відношення радіуса підвісу до приведеної довжини молотка ротора, що впливає на технологічний режим і якість подрібнення. Різниця між початковою та приведеною довжиною молотка призводить до збільшення коефіцієнта передачі ударних імпульсів на вісь обертання ротора, що значно скорочує ресурс роботи подрібнювача [17].

Попередні наукові дослідження не вичерпно вирішували ці питання, тому для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу подрібнення зернових матеріалів за допомогою подрібнювачів зі шарнірно закріпленими молотками необхідно провести докладніші дослідження. Це також охоплює вивчення закономірностей руху молотка в подрібнювачі в системі "молоток - барабан - середовище".

2.2. Аналіз допущень, які прийняті при проведенні досліджень

Під час теоретичних досліджень були здійснені такі припущення:

- продукт, який надходить через завантажувальний отвір, створює опір руху молотка, що викликає коливання молотка і відбувається один раз за кожен оберт ротора;
- опір кільцевого повітряно-продуктового шару матеріалу в камері подрібнення, де частки рухаються хаотично, призводить до приглушення коливань і не впливає на частоту коливань молотка;
- при створенні графічної логіко-імітаційної моделі відносного руху молотка вважається, що згасання коливань відсутнє, оскільки час між ударами молотка об порцію зерна в зоні завантаження дуже малий (в реальних умовах роботи подрібнювача приблизно 0,02 - 0,03 с);
- переносна швидкість молотка залишається постійною і дорівнює кутовій швидкості ротора, оскільки шарнірна конструкція молотка приглушує крутильні коливання ротора;
- удар молотка по об'єму зерна, яке потрапляє в камеру, вважається ударом по точковому тілу, оскільки маса молотка в 7-14 тисяч разів більше маси зернової частинки злакових культур.

2.3. Аналіз досліджень кінетичної енергії молотка

Щоб зруйнувати зернівку, потрібна конкретна енергія, яка перевищує енергію руйнування зернівки, і основною цією енергією є кінетична енергія. Кінетична енергія системи після удару [20] складається з суми кінетичних енергій руху молотка і порції матеріалу. Кінетична енергія молотка ($E_{к1}$) 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. 2.1):

$$E_{к1} = \frac{J_A \cdot \omega_m^2}{2} + \frac{m \cdot u_r^2}{2}, \quad (2.1)$$

де J_A – значення моменту інерції молотка;

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

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

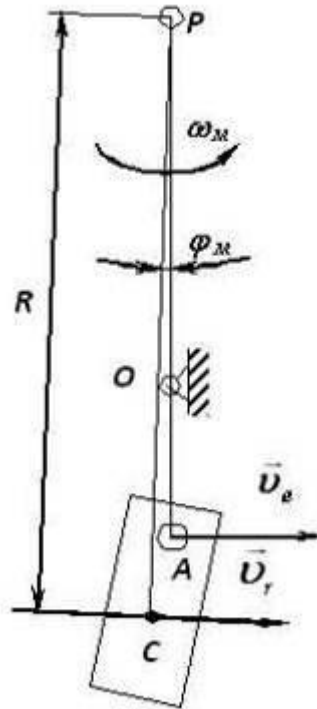


Рис. 2.1 - До визначення миттєвої кутової швидкості молотка після удару

Визначення кутової швидкості точки ω_m :

$$\omega_m = \frac{u_r}{R}, \quad (2.2)$$

Значення миттєвого центра 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 набуває збільшення до безкінечності, тому $j_m = 0$.

Згідно формули (2.2)

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \omega_m = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{u_r}{R} = 0 \quad (2.3)$$

Якщо w_m підставити у формулу (2.2):

$$E_{\kappa 1} = \frac{m \cdot u_1^2}{2} \quad (2.4)$$

Значення кінетичної енергії наважки сільськогосподарської продукції за ударом:

$$E_{\kappa 2} = \frac{m_3 u_3^2}{2}, \quad (2.5)$$

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:

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

Відповідно:

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

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

r_o – значення радіусу кріплення осі молотка на барабані (рис.2.2).

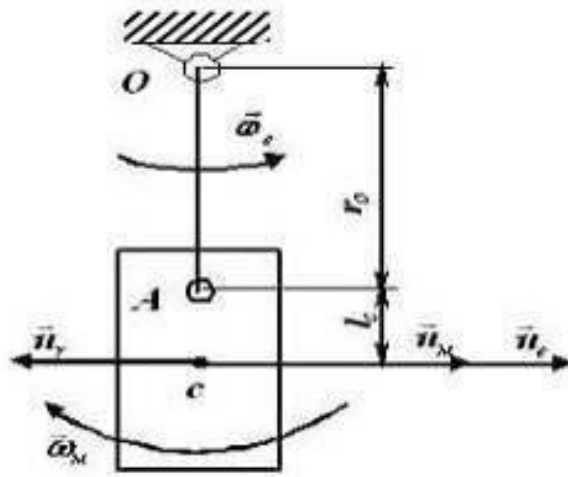


Рис. 2.2 - Геометричні параметри системи барабан - молоток

Здійснивши підстановки, перетворення та спрощення отримаємо:

$$E_y = \frac{J_A \ddot{u}_y^2}{2l_c} \quad (2.6)$$

Відповідно значення швидкості молотка після удару:

$$u_y = v_y - (1 - k_b) \cdot \frac{m_{zl}}{m + m_{zl}} \cdot (v_y + v_z) \quad (2.7)$$

де v_y - значення швидкості молотків до удару;

v_z - значення швидкості наважки сільськогосподарської продукції у момент удару;

k_b - 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:

$$E_y = \frac{\left(v_y \cdot \left(1 - \frac{m_{zl}(1 - k_b)}{m + m_{zl}} \right) \right)^2 \cdot J_A}{2 \cdot l_c^2} \quad (2.8)$$

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

2.4. 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:

$$\Pi = \frac{l}{2} \cdot E \cdot \varepsilon^2 \cdot V ; \quad (2.9)$$

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:

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

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:

$$A_{кр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{кр}^2}{E}, \quad (2.10)$$

Умова руйнування:]

$$\sigma_{кр} = \sqrt{2EA_{кр}}, \quad (2.11)$$

Значення виконання критичної роботи $A_{кр}$, згідно виразів (2.8) і (2.10) будуть рівні один відносно іншого:

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

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

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{\sigma_{кр}^2 \cdot l_c^2 \cdot V}{J_A \cdot \left(1 - \frac{m_z \cdot (1 - k_b)}{m + m_z}\right)^2 \cdot E}} \quad (2.12)$$

Значення моменту інерції молотка:

$$J_A = m \cdot l_c \cdot l_{зв}, \quad (2.13)$$

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):

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

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:

$$v_{кр} = \frac{\sigma_{кр} \cdot l_c}{k_B} \sqrt{\frac{V}{J_A \cdot E}} \quad (2.14)$$

2.5. Аналіз визначення потужності при подрібненні сільськогосподарської продукції

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

$$P_n = v_{кр} \cdot F \cdot \eta \quad (2.15)$$

де $v_{кр}$ - значення критичної швидкості при ударному руйнуванні сільськогосподарської продукції;

F - зусилля яке необхідне для руйнування;

η - значення коефіцієнта корисної дії молотка.

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

$$P_n = \frac{F^2}{S} \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{l_c \cdot m_z \cdot z}{m \cdot l_{зв} \cdot E \cdot \rho}} \cdot Z ;$$

або:

$$P_n = \frac{F^2 \cdot l_c}{S \cdot k_B} \cdot \sqrt{\frac{V}{J_A \cdot E}} \quad (2.16)$$

3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень є перевірка або спростування теоретичних положень та закономірностей, визначених в даній роботі, щодо відносного руху молотка подрібнювача, впливу показника на технологічний режим подрібнення та визначення зміни цього показника під час експлуатації подрібнювача ударно-перетиральної дії.

Для практичної перевірки висунутої гіпотези були обрані методики лабораторних досліджень, вимірювальні пристрої та необхідне обладнання. Передбачалося перевірити:

Достовірність теоретичних залежностей відносної швидкості молотка від показника лінійних співвідношень ротора шляхом порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Теоретичні дослідження, що обґрунтовують раціональні технологічні параметри подрібнення зернових матеріалів подрібнювачами ударно-перетиральної дії, були виконані з деякими допущеннями. Таким чином, для уточнення цих параметрів та виконання експериментальних досліджень визначено вихідні положення та напрямки лабораторних досліджень та виробничих випробувань:

Здійснити математичну обробку експериментальних даних та визначити інтервал раціональних значень параметрів ротора з шарнірно закріпленими молотками подрібнювача ударно-перетиральної дії.

Експериментальні дослідження були спрямовані на уточнення кінематичних параметрів молоткових робочих органів під час роботи подрібнювача, визначення технологічних параметрів процесу подрібнення зернових матеріалів, а також перевірку теоретичних досліджень, виконаних авторами.

При здійсненні досліджень використовували зерно пшениці вологістю 12,5 - 14,5 % , вміст смітної домішки до 5 % та пил 0,26% відносно загальній масі.

3.2. Визначення раціональних режимів роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції

Для визначення того, при яких конкретних значеннях показників лінійного співвідношення ротора виконується умова досягнення максимальної швидкості та мінімальних кутів відхилення молотка в момент початку удару, було використано установку (рис. 3.1) із маятником. Маятник складається зі сталеві кульки 16 та гнучкої капронової нитки 15, що моделює молоток дробарки. Молоток закріплений на диску з віссю 5 за допомогою гвинта. Така конфігурація закріплення дозволяє змінювати довжину маятника l , відповідно, значення показника лінійного співвідношення між радіусом підвісу r_0 і зведеною довжиною молотка $l_{зв}$.

Вісь підвісу маятника може вільно обертатися в підшипниках, які встановлені на диску 5. Завдяки незначним опорам обертання осі та дуже маленьким масам нитки і кульки, маятник установки можна розглядати як математичний, і відстань від осі пальця до центра кульки можна вважати приведеною довжиною молотка.

Для проведення експериментів при різних кутових швидкостях диска, яким керує двигун постійного струму (тип ПЛО-7-2, номінальна потужність 110 Вт), підключеного через напівпровідниковий блок живлення 11 до мережі змінного струму, використовується. Регулювання числа обертів здійснюється за допомогою лінійного автотрансформатора 10, який підключений до обмотки ротора двигуна.

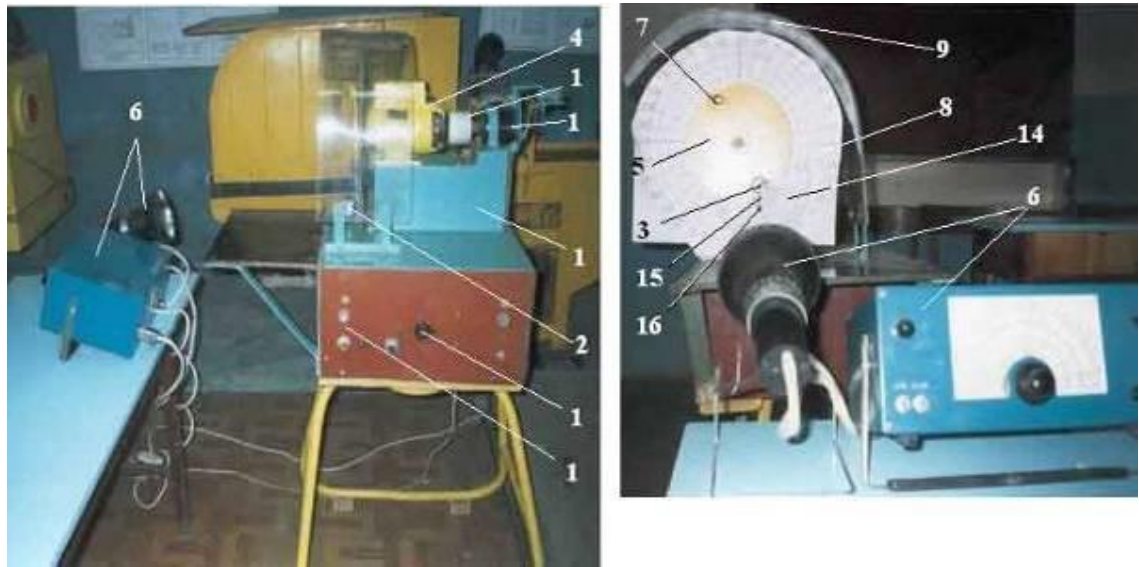


Рис.3.1 - Установка для дослідження коливань моделі молотка:

1 - корпус приладу; 2 - механізм створення опору; 3 - поворотна вісь підвісу; 4 - електродвигун; 5 - диск; 6 - тахометр стробоскопічний 2ТСт 32-456; 7 - противага; 8 - нерухома шкала; 9 - захисний кожух; 10 - регулятор частоти обертання диска; 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.

Для вимірювання швидкості обертання диска, вал двигуна з'єднаний з валом тахогенератора 13, до клем якого підключений вольтметр для фіксації частоти обертання диска 5 із маятником. На диску закріплена шкала кутових амплітуд коливань маятника 14, яка обертається разом із диском 5. Центр цієї шкали пов'язаний з віссю підвісу маятника, і її нульова відмітка розташована на радіусі диска, що проходить через вісь підвісу.

Положення шкали 14, разом із осі підвісу маятника, в кожний момент часу можна визначити за допомогою кругової шкали 8, яка закріплена на корпусі 1 разом із захисним кожухом 9. Нульова відмітка нерухомої шкали розташована внизу. Кожного оберту вала контакт механізму вмикання 12, що

розташований на рухомому текстолітовому кільці, замикає сталеві пружинні контакти електричного ланцюга стробоскопа 6. Безінерційна лампа стробоскопа при кожному оберті висвітлює на мить диск та маятник, тим самим забезпечуючи їх нерухомість для спостерігача.

Дослідження відбувається за допомогою механізму створення опору 2 (рис. 3.4), що складається з гумової пластини. Пластина обтягнута гумою та закріплена на гвинті, підйом та опускання якого здійснюється поворотом гайки (рис. 3.2, поз. 6). Регулюванням висоти пластини досягається удар кульки по різних частинах пластини при різних довжинах маятника. Це імітує реакцію матеріалу, що подрібнюється.

Експерименти проводяться в наступній послідовності.



Рис.3.2 - Дослідження руху моделі молотка $k_L=4$:

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

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

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{m \cdot (r_o + l_{зв})^2 \omega_e^2}{2}$$

постійній величині

При $l_{зв} = 0,030\text{м}$, $w_{e30} = 104,7 \text{ c}^{-1}$ ($n=1000$ об/хв), а $w_{e22,5} = 111, \text{ c}^{-1}$,

$w_{e40}=96,6 \text{ c}^{-1}$, $w_{e60}=83,8 \text{ c}^{-1}$, $w_{e90}=69,8 \text{ c}^{-1}$.

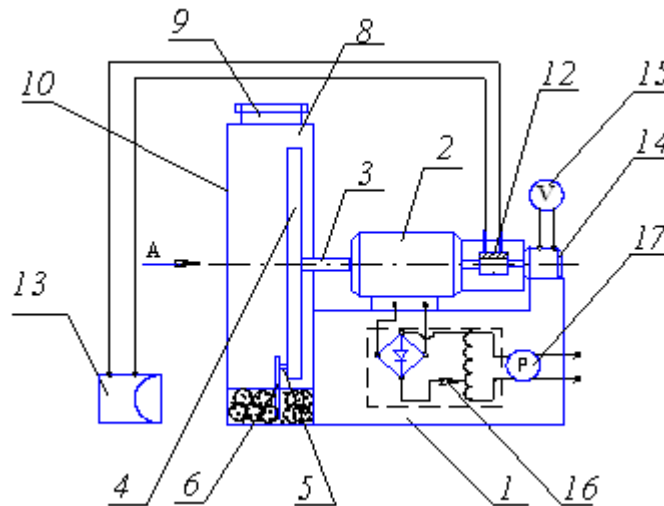
А при $l_{зв}=0,040\text{м}$ ($k_L=2,25$), $w_e=733$; $104,7$; $125,6$; $175,1\text{c}^{-1}$. $w_e=30$
Отримали:

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

3.3 Визначення енергетичних показників при роботі подрібнювача сільськогосподарської продукції

Для визначення витрат енергії на подрібнення зернових матеріалів був вдосконалений стенд для дослідження роботи малогабаритного подрібнювача зерна (рис. 3.1 і рис. 3.2). Це дозволяє визначити оптимальні параметри фізичного маятника за кутом відхилення під час взаємодії з шаром зернових матеріалів і одночасно фіксувати витрачену потужність [52].

Використання фізичного маятника у вигляді сталевого пластинчатого молотка виключає похибки, пов'язані з еластичністю нитки фізичного маятника, наближаючи умови експерименту до реального процесу у подрібнювачі ударно-перетиральної дії. Вдосконалення джерела живлення дозволяє визначати потужність, витрачену під час роботи, а встановлення прозорі передньої стінки захисного кожуха забезпечує можливість контролювати фізичні параметри процесу подрібнення зернових матеріалів.



Вид А

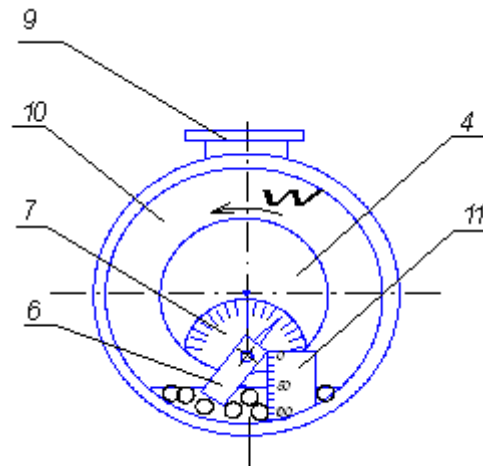


Рис.3.3 - Схема стану для дослідження роботи малогабаритного подрібнювача зерна:

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

Стенд (рис. 3.3) включає корпус 1, оснащений електродвигуном постійного струму 2. На одному кінці вала 3 електродвигуна закріплено диск 4 із віссю 5, на якій розміщено фізичний маятник у формі пластинчастого молотка 6. Диск 4 має шкалу 7 для вимірювання кутових відхилень молотка

6. Зона обертання диска 4 захищена циліндричним кожухом 8 з горловиною 9 для завантаження кормів та прозорою передньою стінкою 10 із шкалою 11 для вимірювання товщини шару зернових кормів.

На вільному кінці вала 3 розташовано механізм замикання контактів 12 стробоскопічної лампи 13 і тахогенератор 14, пов'язаний з вольтметром 15 для визначення частоти обертання вала електродвигуна. Джерело живлення 16 дозволяє змінювати напругу (частоту обертання ротора), а прилад 17 вимірює потужність, витрачену на подрібнення при різних значеннях показника лінійного співвідношення $k_L=2,25$ та $k_L=4$.

Фізичний маятник у вигляді пластинчастого молотка 6 з'єднаний шарнірно з віссю 5. Надавши напругу від джерела 16 на електродвигун 2, встановлюємо частоту обертання диска 4 згідно з програмою експерименту, а вольтметр 15 контролює швидкість обертання. Відхилення молотка 6 при взаємодії з шаром зернових матеріалів, завантажених у циліндричний кожух 8 з прозорою стінкою 10, визначається за шкалою 7 при включенні стробоскопу 13.

Положення точки взяття показань щодо контакту "молоток - матеріал" вибирається шляхом повороту механізму вмикання 12 відносно осі обертання вала 3 електродвигуна. Затрачену потужність під час роботи стану при різних технологічних режимах вимірюємо за допомогою приладу 17. Прозора передня стінка 10 надає можливість візуального спостереження за динамікою руху фізичного маятника, а використання приладу 17 дозволяє визначити потужність при роботі стану на різних технологічних режимах.

3.4 Визначення ступеня якості подрібнення та критерії оцінки ефективності роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції

Для оцінки якості роботи подрібнювача та порівняння ефективності подрібнення при різних коефіцієнтах лінійних співвідношень, використовувався ситовий класифікатор кулісного типу.

Класифікатор для проведення гранулометричного аналізу зернової суміші (рис. 3.4) складався з мотор-редуктора (електродвигун постійного струму типу 2ПП-40 потужністю $N=70\text{Вт}$, нормальною частотою обертання валу $n=4100\text{об/хв}$ та черв'ячного редуктора з передавальним числом $U=51$); насадженого на його вал кривошипа з пальцем; куліси, у прорізі якої знаходиться палець кривошипу; паралелограмного механізму, ведучою ланкою якого є продовження куліси, вертикальною ланкою, що поступально рухається - набір лабораторних сит, механізму кріплення сит, горизонтальною веденою ланкою - коромисло, нерухомою ланкою - стійка. Ланки паралелограмного механізму між собою шарнірно з'єднані пальцями. Конструкція механізму кріплення дозволяє легко та швидко знімати набір сит, змінювати кількість сит у ньому.

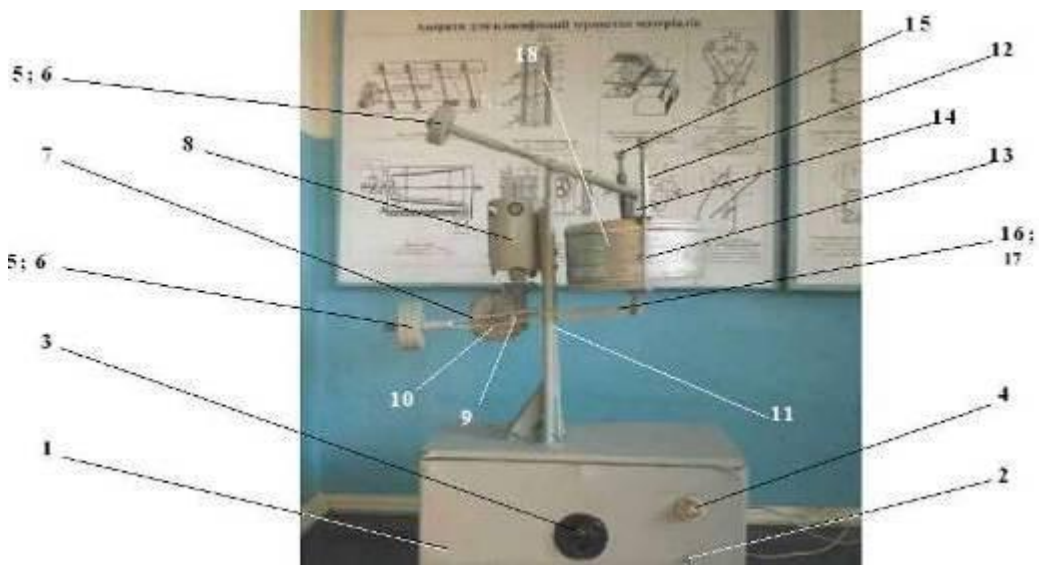


Рис.3.4 - Ситовий кулісний класифікатор для гранулометричного аналізу зернового матеріалу після подрібнення: 1 - підставка; 2 - тумблер, 3 - регулятор автотрансформатора; 4 - лампа сигнальна; 5 - противага; 6 - гайка; 7 - куліса; 8 - електродвигун; 9 - палець кривошипа; 10 - кривошип; 11 - стійка; 12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

Стійка закріплена на кришці основи класифікатора. Усередині основи розташований лінійний автотрансформатор. Поворотом рукоятки можна

змінювати напругу в роторі електродвигуна, щоб досягти потрібної частоти обертання двигуна. Двигун приєднаний до мережі перемінного струму напругою 220 В через трансформатор з напругою на вторинній обмотці 24 В та випрямляючим містком. Є тумблер для вмикання електродвигуна та неонова лампочка для сигналізації його роботи. Для зміни амплітуди коливань сит кривошип під кріпленням пальця має кілька отворів, які дозволяють встановлювати радіус кривошипу на рівнях 0,020; 0,030; 0,040; 0,050 м. Врівноваження набору сит здійснюється за допомогою противаги, закріпленої на кінцях куліси та коромисла. При вмиканні електродвигуна кривошип, який обертається з його валом, передає кулісі та з'єднаному з нею набору сит інтенсивні коливання. 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:

$$d_{i.cp} = \frac{d_{j.cum} + d_{j+1.cum}}{2} \quad (3.1)$$

9. Визначаєм ступінь подрібнення i згідно формули:

$$i = \frac{d_{cp}^{max}}{d_{cp}^{min}} = \frac{D_3}{M}; \quad (3.2)$$

де d_{cp}^{max} - значення середнього розміру вихідного продукту;

d_{cp}^{min} - значення середнього розміру подрібненого продукту;

D_3 – значення еквівалентного діаметру продукту:

$$D_3 = \sqrt{\frac{6V_3}{\pi}} = 1,243\sqrt{V_3} \quad (3.3)$$

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_o - маса продукту яка знаходиться на днищі класифікатора;

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:

$$P_E = \frac{N \cdot t}{m}, \quad (4.5)$$

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:

$$E_p = \frac{\Pi_E}{K_{\text{стт}}} \quad (4.6)$$

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].

На рисунках 3.5 - 3.8 наведені порівняльні дані сучасних вітчизняних подрібнювачів та США.

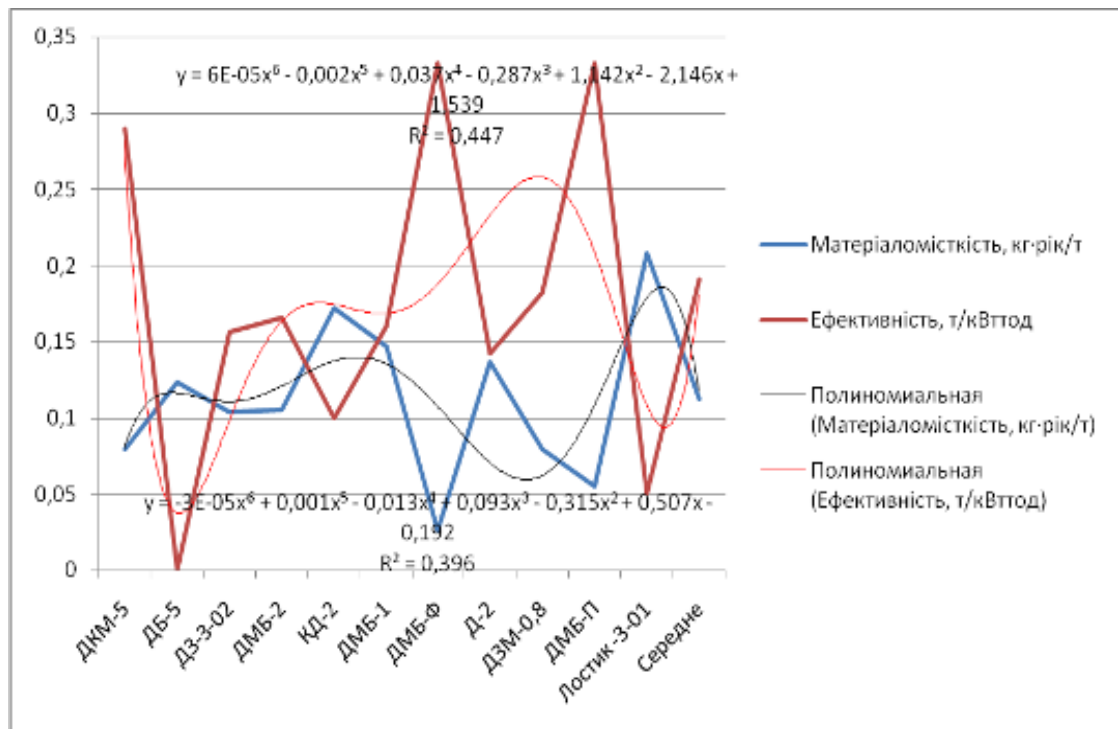


Рис.3.5 - Порівняльні дані ефективності та матеріаломісткості вітчизняних подрібнювачів

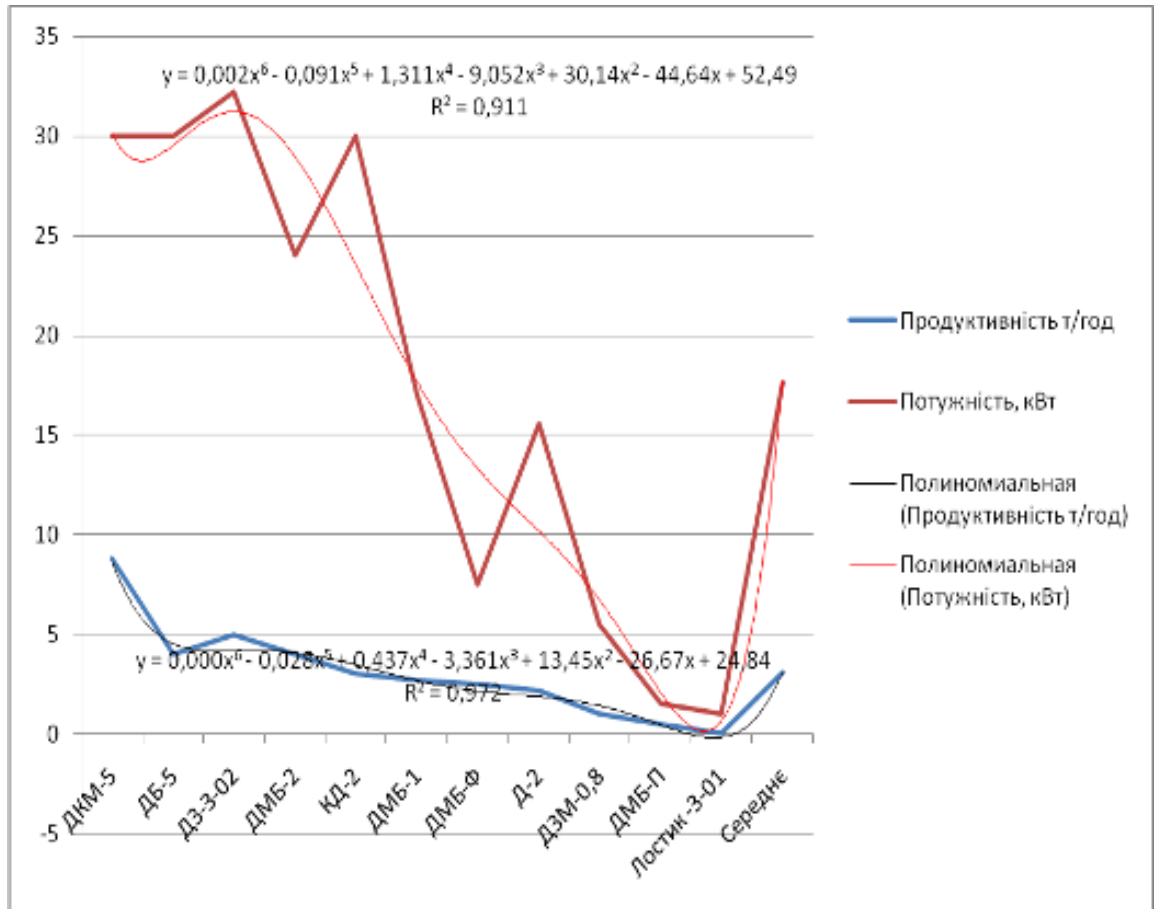


Рис.3.6 - Порівняльні дані потужності та продуктивності вітчизняних подрібнювачів

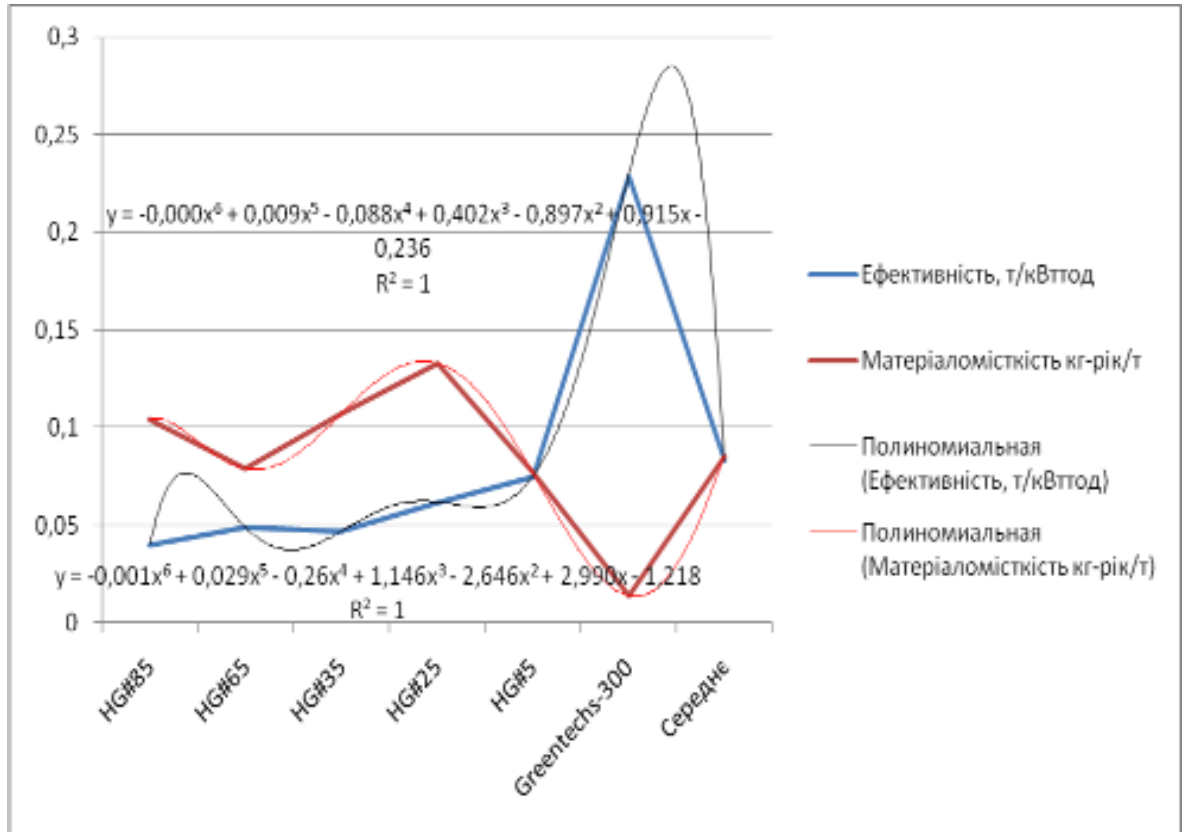


Рис.3.7 - Порівняльні дані ефективності та матеріаломісткості подрібнювачів виробництва США

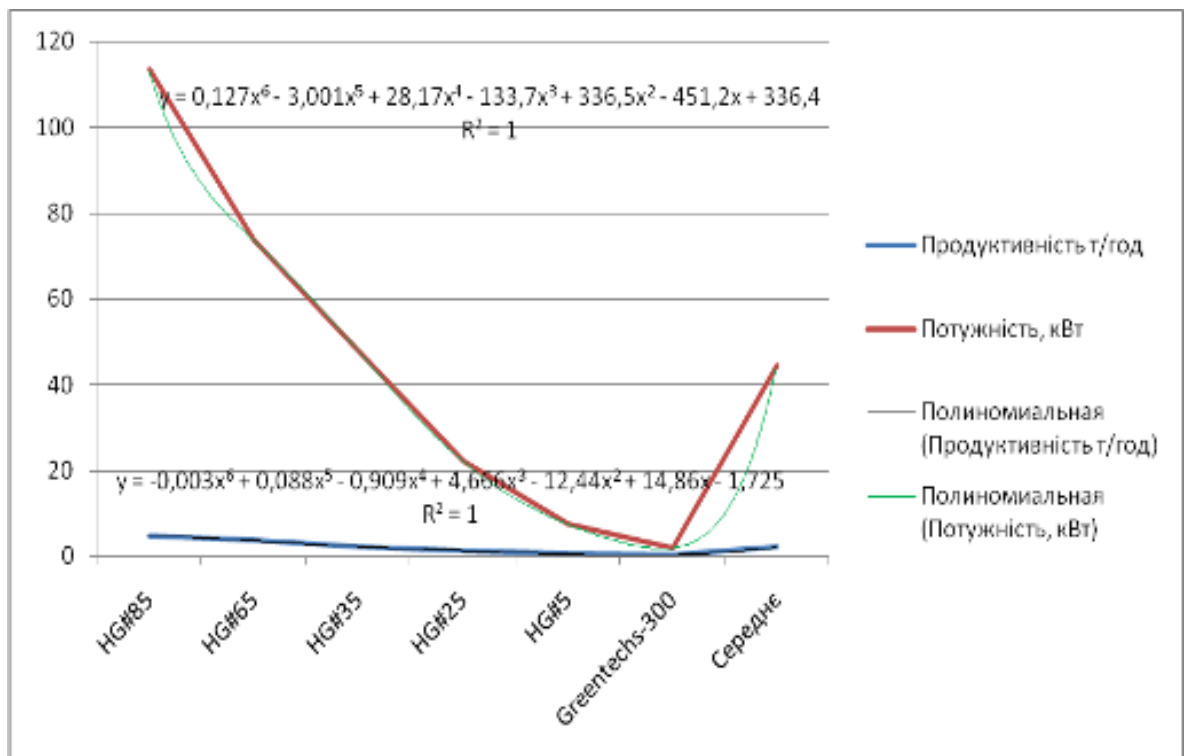


Рис.3.8 - Порівняльні дані потужності та продуктивності подрібнювачів виробництва США

3.5 Здійснення порівняльного аналізу щодо ефективності роботи молотковим ротором

Даний тип конструкції подрібнювача ударно-перетиральної дії з шарнірно закріпленими молотками, основні складові цього подрібнювача включають робочу камеру, живильні і відвідні патрубки, молотковий ротор, електродвигун, клинопасову передачу і раму.

Основні елементи та їх функції:

1. Робоча камера - корпус з кришкою, в якому відбувається процес подрібнення зернових матеріалів.

2. Живильний патрубок - використовується для подачі зернової маси у верхню частину корпуса. На ньому може бути встановлене мірне скло для визначення подачі матеріалу.

3. Молотковий ротор - складається з вала, втулки, планок, пальців з молотками та дистанційних втулок. Він відповідає за механічне подрібнення матеріалів.

4. Електродвигун - номінальною потужністю 3 кВт і частотою обертання валу 1410 хвилин-1. Він відповідає за надання ротору необхідної робочої потужності.

5. Клинопасова передача: - передача, яка передає зусилля від електродвигуна ротору подрібнювача.

6. Рама подрібнювача зварна, корпус на ній закріплений на двох стійках, а електродвигун - на двох полозках.

Цей подрібнювач призначений для подрібнення зернових матеріалів і, ймовірно, може бути використаний для визначення ефективності та основних параметрів процесу подрібнення. Додаткова оптимізація параметрів такого обладнання може бути важливою для досягнення більш ефективного та енергоефективного процесу подрібнення.



Рис.3.9 - 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

Дослідження проводяться у наступній послідовності.

1. Підключення приладу К-505 до електродвигуна подрібнювача.

2. Засипання бункера порцією зерна вагою 1 кг.
3. Визначення потужності холостого ходу за допомогою приладу К-505.:
4. Запуск процесу подрібнення.
5. Відкриття дозуючої заслінки і включення секундоміру.
6. Одночасне замірювання потужності електродвигуна під навантаженням.
7. Зупинка секундоміру у момент закінчення подрібнення.
8. Розрахунки та аналіз результатів:
9. Розрахунок питомої витрати енергії на здрібнювання.
10. Побудова графіків залежності продуктивності та питомої витрати енергії від показників лінійного співвідношення ротора.
11. Обробка результатів коливань молотка:
12. Використання встановлених методик обробки експериментальних даних для аналізу коливань молотка.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЗДІЙСНЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Раціональні режими роботи подрібнювача сільськогосподарської продукції

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).

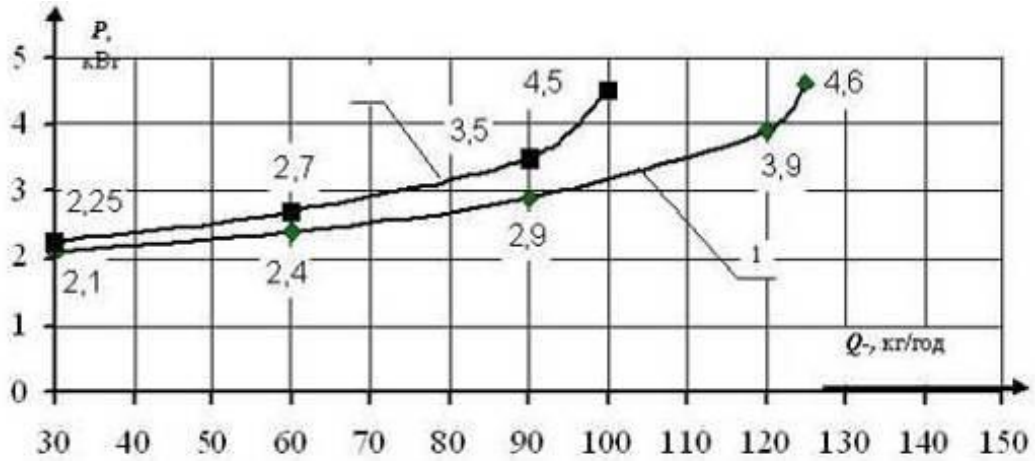


Рис. 4.1 - Залежність потужності на подрібнення (P) від подачі (Q) при значенні параметра ротора:

$$1-K_L=2,25; l_{зв}$$

$$2-K_L=4$$

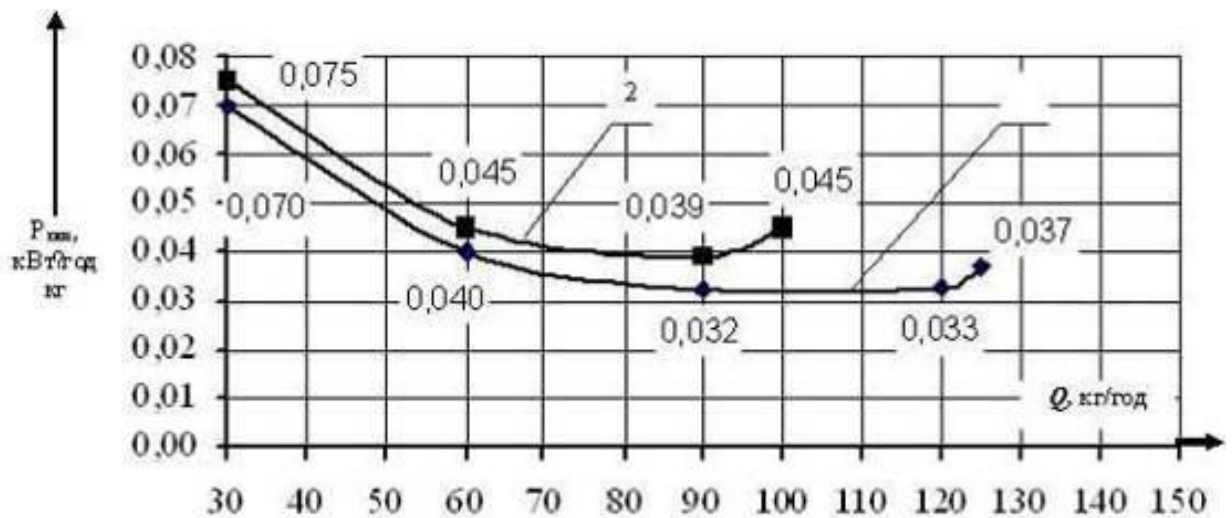


Рис. 4.2- Енергоємність роботи подрібнювача ($P_{енер}$) при значенні параметра ротора:

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

$$2-K_L=4$$

У таблиці 4.1 відображено результати випробувань.

Таблиця 4.1

Результати випробувань малогабаритного подрібнювача зерна

Показник лінійного співвідношення	Подача, кг/год					
	30	60	90	110	120	125
	Енергоємність, кВт·год/кг					

ротора						
$K_L=2,25$	0,070	0,040	0,032	-	0,033	0,037
$K_L=4$	0,075	0,045	0,039	0,041	-	-

4.2 Порівняльний аналіз якості подрібнення зернових матеріалів

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.

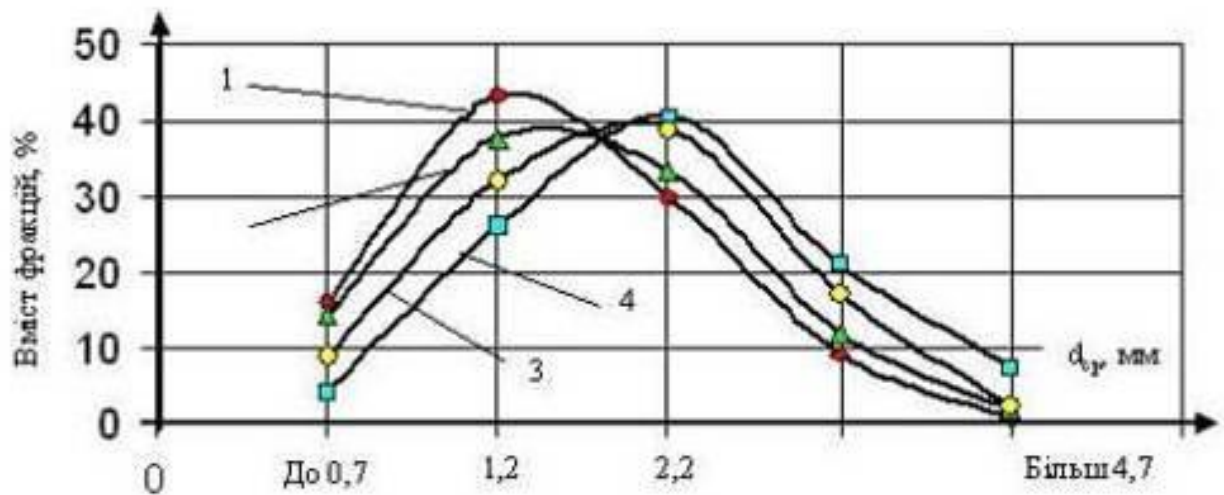


Рис. 4.3 - Фракційний склад подрібненого зерна при роботі подрібнювача з показником ротора $K_L=2,25$

- 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

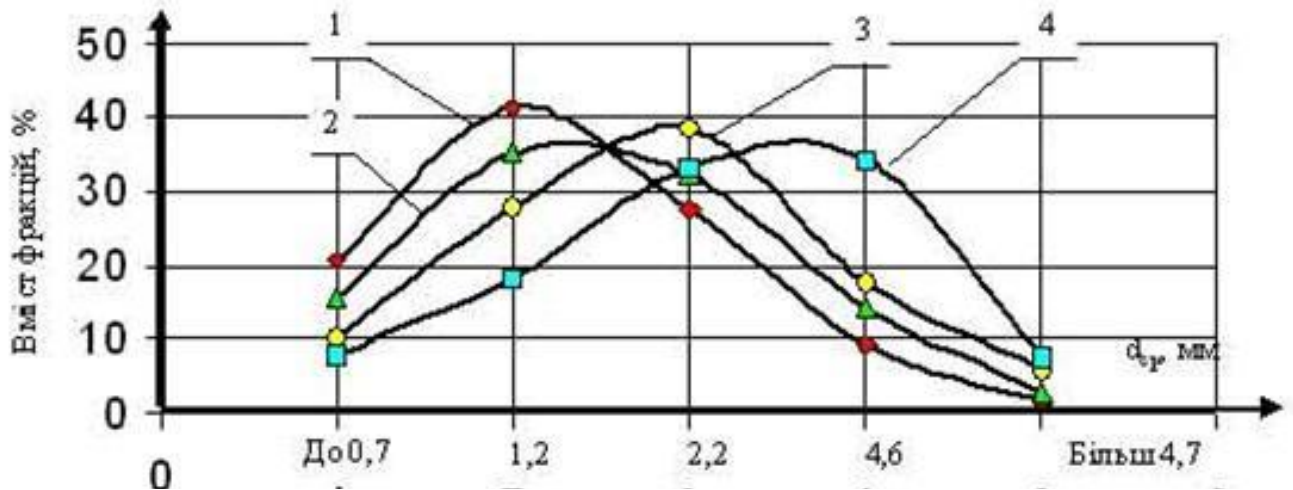


Рис. 4.4 - Фракційний склад подрібненого зерна при роботі подрібнювача з показником ротора $K_L=4$
 1 – решето з отворами $\varnothing 5,5$ мм,
 2 – решето з отворами $\varnothing 6,5$ мм,
 3 – решето з отворами $\varnothing 7,5$ мм,
 4 – без решета

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

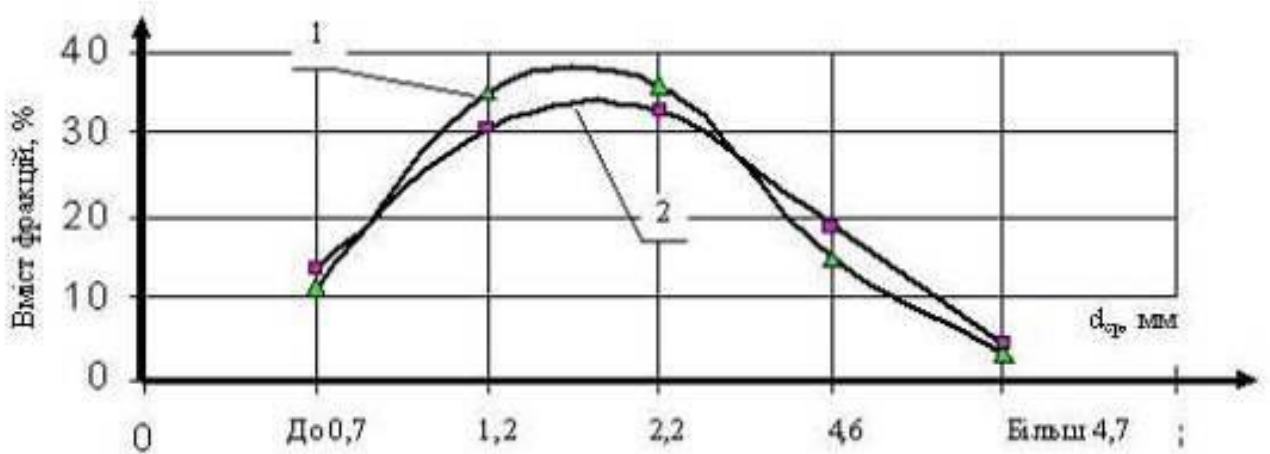


Рис. 4.5- Середні значення фракційного складу подрібненого зерна при роботі подрібнювача з параметрами ротора:
 1- $K_L=2,25$;
 2- $K_L=4$

**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	
			<i>K_L</i> =2,25	<i>K_L</i> =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

Показник ротора κ_L	Середній розмір часток, $d_{cp} \times 10^{-3}$ м	Вміст у наважці, $\times 10^{-3}$ кг	Вміст кондиційних часток, $m_k \times 10^{-3}$ кг	Коефіцієнт якості подрібнення, K_o	Середня енергоємність, кВт·год/кг	Показник ефективності 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) \emptyset 5,5 мм, \emptyset 6,5 мм, \emptyset 7,5 мм та без решета відображені графіками рис.4.6.

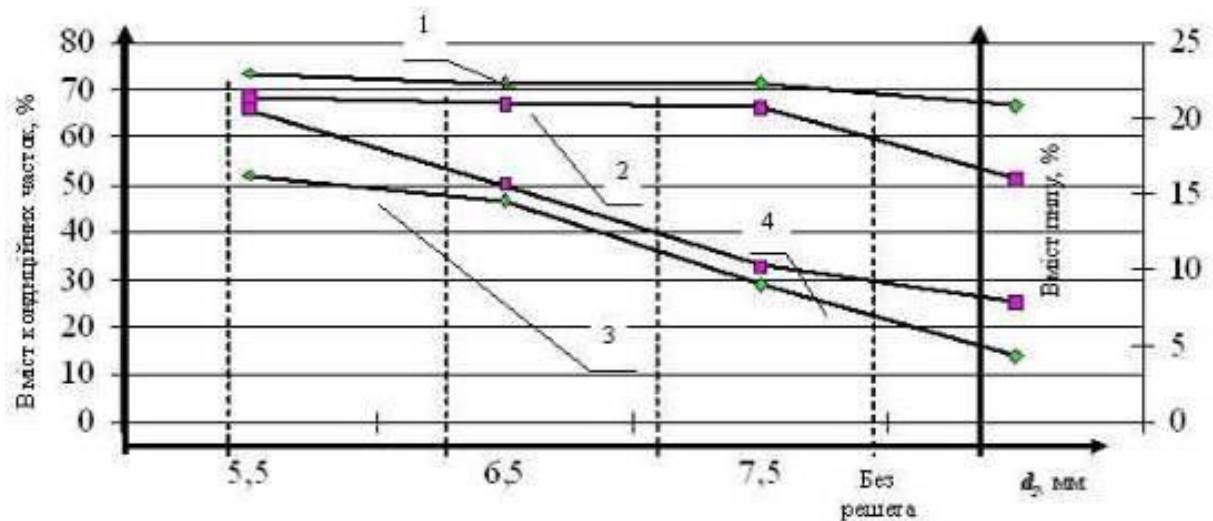


Рис. 4.6- Залежність вмісту частинок з раціональними вимогами від діаметру отвору решета при $1-K_L=2,25$; $2-K_L=4$ і вмісту надмірно подрібнених частинок при $3-K_L=2,25$; $4-K_L=4$

Зміна розмірно-масових характеристик молотків внаслідок зношування є важливим аспектом дослідження, оскільки це може впливати на ефективність роботи подрібнювача та якість подрібнення. Ці зміни можуть бути обумовлені рядом факторів, таких як інтенсивність взаємодії молотка з матеріалом, його фізичні та механічні властивості, а також вибір матеріалу молотка.

На основі отриманих результатів про зміну моменту інерції молотків можна зробити наступні висновки:

1. КДУ-2 молотки:

- Стабільне зменшення моменту інерції до 60% від початкового при спрацюванні чотирьох робочих граней.

- Це може свідчити про добру стійкість до зношування, що позитивно впливає на якість подрібнення.

2. Молотки АВМ-1,5:

- Різке зменшення на 25% моменту інерції при спрацюванні однієї грані.

- Часткове відновлення при переустановці та роботі другої грані, але з подальшим поступовим зниженням до 33% від початкового значення.

- Це може призводити до погіршення якості подрібнення та збільшення енергоємності.

З огляду на ці висновки, можливо, буде цікаво дослідити вплив різних типів молотків на продуктивність та якість подрібнення в залежності від їхньої зносостійкості. Також можна розглянути можливість вдосконалення конструкції молотків для підвищення їх тривалості служби та зменшення впливу на характеристики подрібнювача.

Таблиця 5.4

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 НАСЕЛЕННЯ

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 розрізнити поняття “нешасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нешасний 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).

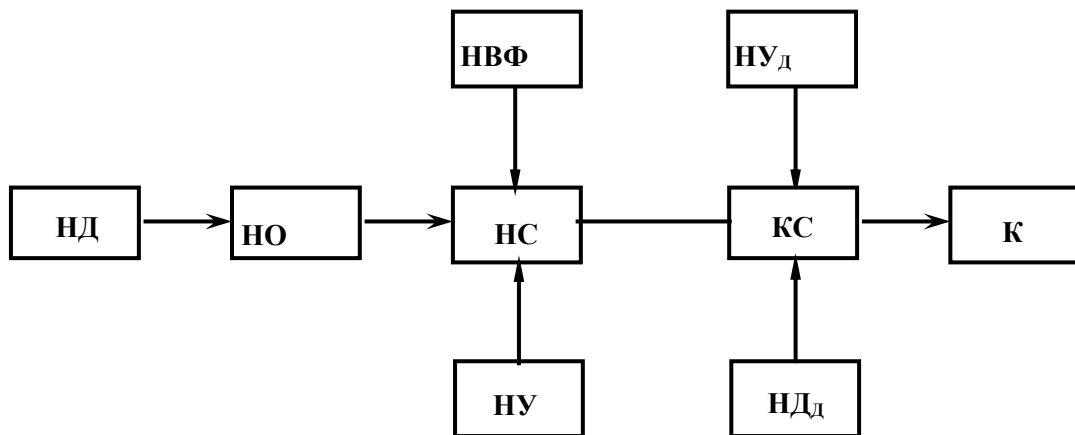


Рис. 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій

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 безпеки 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:

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

де A_B – вимірне 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 5.2

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
3	4	5	6	7	8	9	10
- 14 + 26 40-60 0,3 80 99	ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.003-86 ГОСТ 12.1.012-78	0 – (-10) 25 – 30 50 0,2 80 – 82 95	0.71 1.13 1.25 0.7 1.03 0.95	8 8 8 8 4 4	1 1 1 1 0.5 0.5	0.71 1.13 1.25 0.7 0.515 0.475	0.089 0.14 0.16 0.088 0.064 0.059
70 95	СНиП 2-4-79/85 СНиП 2-4-79/85	75 96	1.07 1.01	8 8	1 1	1.07 1.01	0.134 0.126
3-4 30	ГОСТ 12.1.005-88 ПІГІЄНИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРАЦІ	3 35	1 1.16	6 6	0.75 0.75	0.75 0.87	0.094 0.109

№ фактора	1	Фактори умов праці	2
1			Температура повітря
1.1			взимку
1.2			влітку
2			Вологість повітря, %
3			Швидкість руху повітря, м/с
4			Виробничий шум, дБ
5			Вібрація загальна, дБа
6			Освітлення:
6.1			природне, %
6.2			штучне, Лк
7			Пил, мг/м ³
7.1			зерновий
8			Робота стояча, %

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 безпеки можна спрямувати на удосконалення конструкції технічних засобів, на зниження їх безпеки, 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).

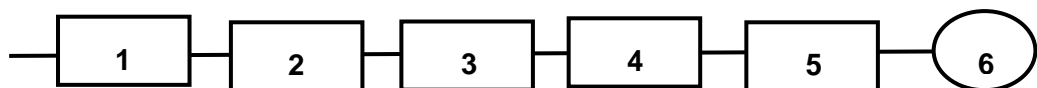


Рис. 5.2 - Схема побудови логіко-імітаційних моделей:
1- головна подія; 2-5- проміжні події; 6- базова подія.

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

Для оцінки рівня безпеки 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

помилки 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 будуємо 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} :

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

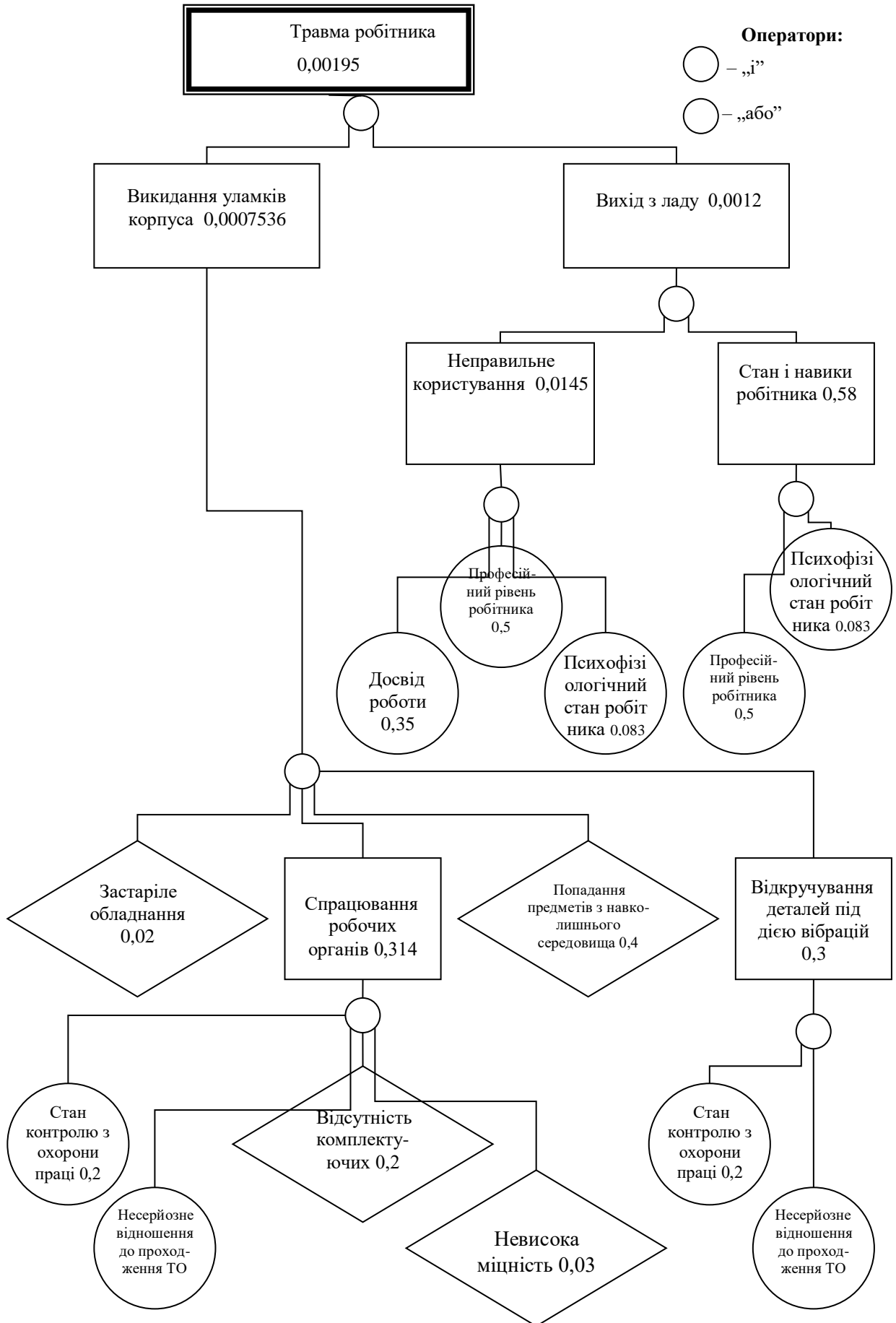


Рис. 5.3 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

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:

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

для базової моделі:

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

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

$$E_{\text{в}} = M_{\text{ж}} \cdot K_{\text{з}} \cdot B_{\text{ен}} \quad (6.4)$$

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

$K_{\text{з}}$ - кількість годин роботи на рік;

$B_{\text{ен}}$ - вартість 1кВт електроенергії для сільськогосподарських виробників, приймаємо 1,85 грн. Тоді:

$$E_{\text{ем}} = 3 \times 800 \times 1,85 = 4440$$

Для подрібнювача старої конструкції:

$$E_{\text{ем}} = 3 \times 842,1 \times 1,85 = 4674$$

Витрати на оплату праці персоналу:

$$O_{\text{п}} = T_{\text{см}} \cdot K_{\text{з}} \cdot K_{\text{р}} \quad (6.5)$$

де $T_{\text{см}}$ - годинна оплата праці, приймаємо 30 грн; $K_{\text{з}}$ - кількість годин роботи за рік; $K_{\text{р}}$ - кількість обслуговуючого персоналу.

Тоді для базової конструкції:

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

Для модернізованої:

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

Річний економічний ефект:

$$E_{\text{р}} = (E_{\text{вм}} - E_{\text{вб}}) + (O_{\text{пм}} + O_{\text{пб}}) \quad (6.6)$$

де $E_{\text{вм}}$ - енерговитрати використання модернізованого подрібнювача, грн;

$E_{\text{вб}}$ - енерговитрати подрібнювача старої конструкції, грн;

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

Термін окупності:

$$T_{\text{о}} = 1,2 \text{ роки}$$

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. - К.: 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., Подпратов Г.І., Сеньків А.М. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. –Ніжин: Аспект, 1999. –383с.
6. Камінський В.Д., Бабич 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. – К.: Вища школа, 1994. –301с.
8. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного налізу об'єктів нової техніки: Навч. посібник/За ред.. Ю.Г.Леги. – К.:Либідь, 2004. – 288с.

9. Харчова промисловість України: стан та перспективи / За ред. акад. НАН України І. Р. Юхновського. – К. : 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: МІЛАНІК, 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 – К.: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. – К. : 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. Верховкєра; 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 вилуви 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.