

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“ Дослідження роботи вдосконаленої  
конструкції молоткової дробарки ”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Назар ОНИШКІВ  
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Петро КОРУНЯК  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“12” вересня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту

**Онишків Назару Романовичу**

1. Тема роботи: **«Дослідження роботи вдосконаленої конструкції молоткової дробарки»**

Керівник роботи: Коруняк Петро Степанович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 02.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання, літературний пошук;

2. Теоретичні передумови роботи машини для подрібнення деревини;

3. Експериментальні дослідження роботи машини для подрібнення сипких матеріалів;

4. Охорона праці та довкілля;

5. Ефективність прийнятих рішень;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: огляд відомих конструкцій машин для подрібнення матеріалів; принципові схеми машин для подрібнення деревини; машина для подрібнення деревини RM-51; схема експериментальної установки для дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів машини для подрібнення деревини на основні показники роботи; графік залежності необхідної потужності, яка затрачається на подрібнення деревини та пропускної здатності; графік залежності швидкості подачі деревини в камеру подрібнення; залежність продуктивності від співвідношення радіуса ножового диска і частоти обертання; залежність продуктивності від співвідношення частоти обертання ножового диска і його радіуса; економічні показники запропонованого технічного рішення.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Коруняк П.С. к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Основні закономірності та сутність робочого процесу подрібнення»	12.09.24- 29.09.24	
2.	Виконання другого розділу: «Теоретичні дослідження роботи молоткової дробарки»	30.09.24- 14.10.24	
3.	Виконання розділу: «Експериментальні дослідження вдосконаленої конструкції молоткової дробарки»	15.10.24- 29.10.24	
4.	Виконання розділу: «Охорона праці та довкілля»	30.10.24- 12.11.24	
5.	Виконання розділу: «Економічна ефективність проекту»	13.11.24- 25.11.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	26.11.24- 02.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ Назар ОНИШКІВ  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Петро КОРУНЯК  
(підпис)

Дослідження роботи вдосконаленої конструкції молоткової дробарки  
Онишків Н.Р. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний  
університет природокористування, 2024р.

72 с. текст. част., 22 рис., 8 табл., 19 джерел інформації.

У кваліфікаційній роботі викладені теоретичні основи процесу подрібнення і можливості використання різних теорій подрібнення для матеріалів із заданими властивостями. Проведений аналіз результатів дослідження роботи подрібнювальних машин ударної дії і методів їх проектних розрахунків, розглянуті шляхи подолання їх недоліків, запропоновані нові конструктивні вдосконалення елементів машин.

Використовуючи аналітичні залежності проаналізовано вплив на енергетичні параметри обладнання різних значень генеруючих вібратором збурюючих зусиль з результатами фізичного експерименту. Проведено порівняльну характеристику якості подрібненої продукції у вібруючому полі.

В розділі охорони праці наведені вказівки, щодо облаштування приміщення де встановлюється дробарка для безпечного виконання робіт.

В економічній частині даної роботи було проведено роботу по обґрунтуванню економічної доцільності проектного рішення.

# ЗМІСТ

ст.

Вступ

## РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА СУТНІСТЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ

- 1.1 Актуальність та тенденції розвитку подрібнювальні машини для виробничих процесах
- 1.2 Теоретичні основи процесу подрібнення матеріалу
- 1.3 Основні теорії подрібнення.
- 1.4 Параметри подрібнювальних машин ударної дії
- 1.5 Машини для подрібнення матеріалів.
- 1.6 Шляхи модернізації подрібнювальних машин для сипких матеріалів
- 1.7 Висновки

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

- 2.1 Інженерний розрахунок параметрів молоткової дробарки
- 2.2 Робота молоткової подрібнювальної машини відомої схеми
- 2.3 Робота молоткової подрібнювальної машини відомої схеми
- 2.4 Конструктивні параметри шарнірного з'єднання “ротатор – молоток”
- 2.5 Теоретичні дослідження дробарки з пружним кріпленням корпусу
- 2.6 Висновки

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

- 3.1 Методика вдосконалення досліджуваних об'єктів
- 3.2 Методика проведення і похибки під час експериментальних

досліджень

- 3.3 Мета експерименту, конструкція і параметри експериментальної дробарки
- 3.4 Послідовність проведення експериментів
- 3.5 Аналіз результатів експериментів
- 3.6 Порівняльна характеристика якості подрібненої продукції з вібрацією корпусу обладнання
- 3.7 Висновки

#### РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

- 4.1 Аналіз виробничих небезпек під час подрібнення сипких матеріалів
- 4.2 Моделювання процесу виникнення травм та аварій
- 4.3 Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час подрібнення сипких матеріалів
- 4.4 Розрахунок штучного освітлення
- 4.5 Розрахунок вентиляції
- 4.6 Розробка заходів щодо захисту населення
- 4.7 Охорона довкілля
- 4.8 Шляхи покращення екологічного стану при експлуатації об'єкту дослідження. Висновки і пропозиції.

#### РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

Розрахунок техніко-економічних показників використання розробленої конструкції дробарки

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.

## ВСТУП

Процес подрібнення застосовується у багатьох галузях виробництва, в яких той чи інший матеріал доводиться подрібнювати. Енергозатрати на подрібнення у відношенні до загальних витрат для різних галузей виробництва неоднакова і коливається від 30% до 70%. У борошномельному виробництві на подрібнення витрачається 35 – 60% енергії, а в комбікормовіому залежно від його виду проукції витрати на подрібнення становлять від 40 до 70 %.

Вдосконалення процесу подрібнення може здійснюватись тільки на підставі глибоких знань як принципу дії машин, так і основних особливостей їх експлуатації.

Сучасний етап розвитку виробництва у нашій державі передбачає створення сільськогосподарських машин з високими техніко-економічними показниками. Застій, який спостерігається в даній сфері полягає у тому, що відомі підходи вичерпали свої можливості, а нові ще не впроваджені у виробництво. Тому, важливим завданням на сьогодні є дослідження роботи модернізованого обладнання, окреслення шляхів підвищення ефективності їх роботи, можливість моделювання робочого процесу та визначення на перспективу техніко-економічних показників. За цих умов, уточнення фізичного механізму руйнування та залученням інших фізичних явищ. Може сприяти хоча б незначне поліпшення показників, що в цілому приводить до відчутного економічного ефекту.

Як відомо, найчастіше для руйнування матеріалу в робочих процесах подрібнення використовують удар і стиск. Вибір і застосування способу руйнування матеріалу залежить від властивостей та якості продукції. Відомо, що найбільш ефективним у цьому є удар, оскільки динамічні навантаження, під час нього у кілька разів більші за статичні.

Серед такого типу машин найпоширеніші дробарки ударної дії, з яких основними є роторні і молоткові. Роторні краще зарекомендували під час подрібнення великих за розміром кусків матеріалу. В свою чергу молоткові

дробарки придатні для утворення продуктово-повітряного шару при роботі з дрібним матеріалом.

Цей тип подрібнювальних машин характеризується високим ступенем подрібнення, а споживча потужність і маса їх на одиницю продуктивності у кілька разів менша ніж у машин іншого принципу дії.

Актуальність науково-дослідних робіт і конструкторських розробок пов'язана із незавершеною теорією ударного подрібнення та методикою розрахунку їх, що приводить до широкої гами різних конструкцій.



# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА

### СУТНІСТЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ

#### 1.1. Актуальність та тенденції розвитку подрібнювальні машини для виробничих процесах

На сучасному етапі, в умовах ринкової економіки, важливим питанням для нашої держави є інтегрування економічної політики в європейські та світові структури. Для цього, перед виробничниками повстає гостре і водночас актуальне завдання необхідності налагодження виробництва якісної, конкурентоспроможної і дешевої продукції. Одним із шляхів розв'язку цієї задачі в умовах фінансової нестабільності є розробка і впровадження у виробництво недорогої та ефективної техніки.

До механічних технологічних процесів відносяться процеси подрібнення, транспортування, механічної класифікації (грохочення), формування виробів, змішування твердих сировинних матеріалів. Загалом, у виробництві хімічної, гірничорудної, порошкової, будівельної, переробної, харчової промисловості, у сільськогосподарському виробництві тощо, вони є найзначнішими не лише за об'ємом, але й і за енергоємністю в порівнянні з іншими. У цих робочих процесах прослідковується певна закономірність, а тому під час їх дослідження застосовують закони механіки твердих тіл.

Процеси подрібнення, як і інші, притаманні багатьом галузях виробництва де має місце подрібнення (молоти) того чи іншого матеріал. Від подрібнення може залежати весь технологічний процес виконання окремо взятої операції чи продукції.

У розвитку засобів подрібнення матеріалів та принципу дії їх спостерігається деякий застій. Відомі способи і підходи стають малоефективними, а нові – далекі ще до впровадження на виробництві. Аналіз даного питання показав, що можливості підвищення ефективності існуючих засобів великі, але жоден з них не має того потенціалу, який би різко підвищив їх техніко-економічні показники. Це підтверджується тим, що сумарна кількість витраченої енергії на подрібнення неоднакова для різних

галузей виробництва і становить 30...70%. Крім того, роботу засобів і процес подрібнення значний вплив мають розміри і форми частинок, а також властивості подрібнюваного матеріалу. Тому, проектуючи подрібнювальну техніку, не завжди можна отримати бажані параметри і режими робочого процесу обладнання. За таких умов на перший план виносяться питання механіки і засоби подрібнення, у яких реалізуються кілька способів руйнування матеріалу, а також формулювання схем організації процесу.

## 1.2. Загальні відомості подрібнення матеріалів

Під час подрібненням здійснюється цілий ряд послідовних операцій в результаті чого елемент (шматок) твердого матеріалу зменшується до необхідного розміру. Такий процес руйнування відбувається завдяки зовнішнього статичного або імпульсного навантаження (сил) більшого за внутрішні сили у матеріалі.

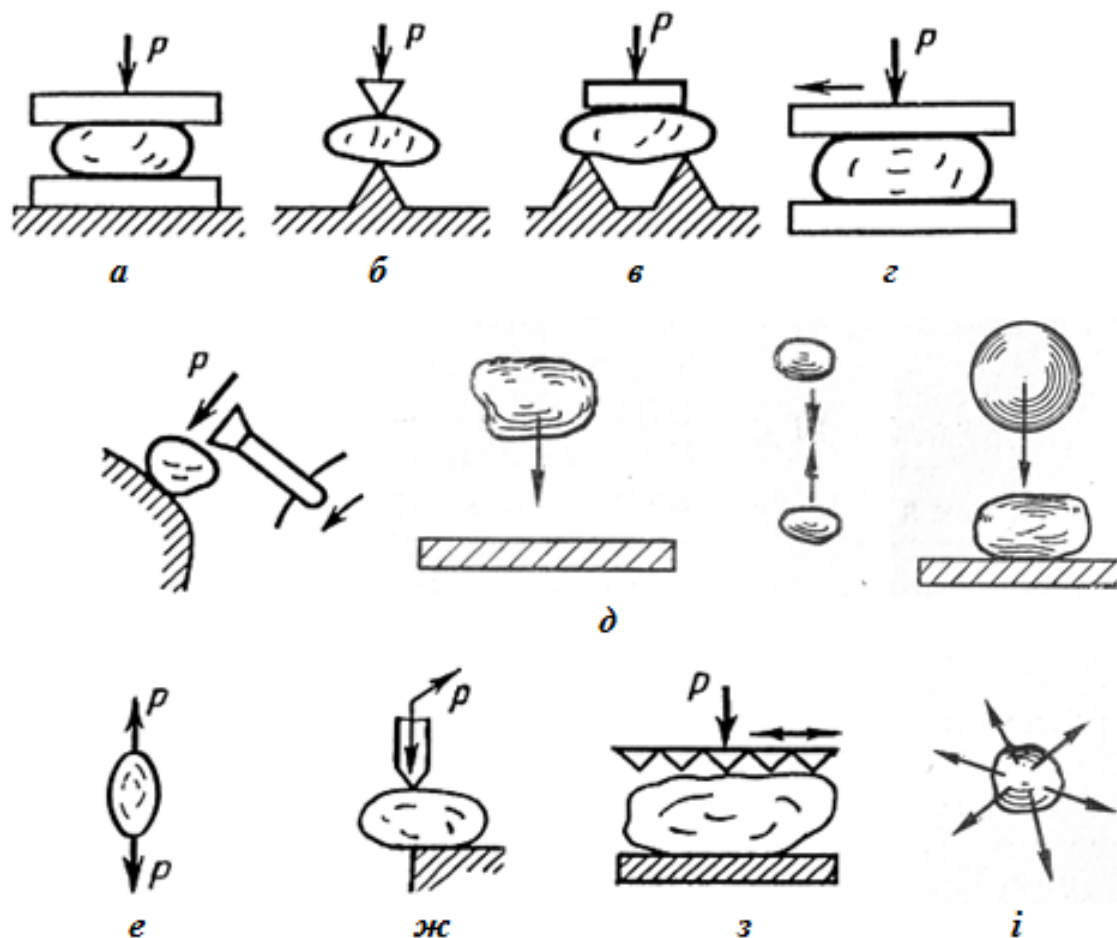


Рис. 1.1. Способи подрібнення матеріалів:

а — роздавлюванням; б — розколюванням; в — згинанням; г — стиранням; д — ударом; е — розриванням; ж — різанням; з — розпилюванням; і — вибухом.

Процес подрібнення здійснюють на виробництві з метою зміни питомої поверхні матеріалу та пришвидшення хімічних, дифузійних і теплових процесів.

Подрібнюється матеріал такими основними способам: розколюванням, роздавлуванням, розламуванням, розбиванням, розтиранням, різанням, розриванням та вибухом. Спосіб подрібнення характеризується точкою прикладання, напрямком і тривалістю дії вибраного зовнішнього навантаження.

Наприклад, роздавлування відбувається під дією сили  $P$  на натискну плиту деформуючи тіло по всьому об'єму. Руйнування відбувається за умови перевищення внутрішніх напружень над межею міцності на стиск. Розколювання здійснюється за рахунок концентрації великих напружень від клиноподібного робочого органу із силою  $P$  у місці з контактуючим матеріалом. Розламування тіла відбувається під дією згинального моменту від сили  $P$ , а розтирання – під дією розтягувальних, стискальних і зрізувальних сил. Під час розбивання тіла воно поділяється на частинки. В залежності від умов силового навантаження можуть реалізуватись різні види подрібнення. Якщо навантаження сконцентровані відбувається розколювання, а у випадку їх розподілу по тілу – роздавлування. Розривання тіла має місце при дії розтягувальних сил, коли у матеріалі виникають напруження, які більші за межу міцності на розрив.

Залежно від початкових розмірів і фізико-механічних властивостей матеріалу вибирається спосіб подрібнення. Основною і визначальною умовою при цьому є міцність матеріалу.

Сьогодні застосовують і нові способи подрібнення. До них відноситься руйнування методом скидання тиску газу, різкого перепаду температур, з використанням електрогідравлічного ефекту, ультразвуку, лазерної техніки, квантових світлових променів тощо.

Процес подрібнення характеризується питомою витратою енергії та ступеню подрібнення. Ступінь подрібнення це відношення розміру матеріалу перед та після подрібнення. Розрізняють два види ступеню подрібнення: лінійна

$$i = d_{\text{п}}/d_{\text{к}} \quad (1.1)$$

об'ємна

$$i_V = V_{\text{п}}/V_{\text{к}} = d_{\text{п}}^3/d_{\text{к}}^3, \quad (1.2)$$

де  $V$  і  $d$  — об'єм і розмір шматків .

На виробництві, як правило, подрібнення матеріалів поділяється на дроблення та помел. Розрізняють наступні його види (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

### Види подрібнення

Вид подрібнення	Розмір шматків, м		Ступінь подрібнення
	до подрібнення	після подрібнення	
<i>Дроблення</i>			
Крупне	1,5 – 0,3	0,3 – 0,1	2 – 6
Середнє	0,3 – 0,1	0,05 – 0,01	5 – 10
Дрібне	0,05 – 0,01	0,01 – $3 \cdot 10^{-3}$	10 – 50
<i>Помел</i>			
Грубий	$0,01 - 3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	5 – 100
Тонкий	$3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-6}$	$\approx 100$
Надтонкий (колоїдний)	–	$5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$	$> 100$

Процес подрібнення поєднується з одночасним переміщенням матеріалу до вихідного отвору . Матеріал переміщається під дією сил тяжіння . Зовнішні сили спочатку деформують шматок, а потім, коли перевершена межа міцності, викликають його руйнування на ряд більш дрібних шматків. Під час подрібнення шматків матеріалу вони руйнуються у більш слабких перерізах. Далі у новоодержаних дрібних шматках знаходиться менше таких слабких перерізів, а тому, витрата енергії при подрібненні крупних шматків повинна бути меншою, ніж у роботі з дрібними шматками.

### 1.3. Основні теорії подрібнення.

Подрібнення як складний технологічний процес залежить від багатьох чинників, зокрема твердість матеріалу, його в'язкість і вологість, розміри і форма шматків, місце заходження їх відносно робочих органів машини та інше.

Від цих характеристик залежить витрата енергії на подрібнення і якоїсь єдиної методики її визначення немає. Як правило, для цього застосовують поверхневу та об'ємну гіпотези.

Згідно поверхневої гіпотези (закон поверхонь Ріттінгера) робота, яка витрачається для подрібнення повинна бути пропорційною наново утвореній поверхні цього матеріалу. Повна робота  $A_n$  подрібнення

$$A_n = k_n \Delta F, \quad (1.3)$$

де  $k_n$  — коефіцієнт пропорційності, який залежить від величини одиниці нової поверхні;

$\Delta F$  — новостворена поверхня.

Ця теорія цілком справедлива для тих способів подрібнення, де не враховується об'єм матеріалу. До них відноситься подрібнення різанням та розпилюванням. Для таких способів як удар, розколювання, роздавлювання, або їх поєднання у цій формулі не врахована робота, яка затрачена на деформування цього тіла.

Об'ємна теорія (закон Кирпичева – Кіка), заснована на підставі того, що робота при подрібненні перед руйнуванням тіла витрачається на деформацію. Тобто, для подрібнення необхідно виконати роботу пропорційну зменшенню об'єму часток матеріалу до їх руйнування. Або іншими словами: робота затрачена на пружну деформацію пропорційна зміні об'єму зруйнованого шматка тіла

$$A_d = k_0 \Delta V, \quad (1.4)$$

де  $k_0$  — коефіцієнт пропорційності, що дорівнює роботі на деформацію тіла;

$\Delta V$  — зміна об'єму (деформований об'єм) зруйнованого тіла.

Для середнього подрібнення, де має місце вплив об'єму і одночасно поверхні, Бонд врахував ці фактори і запропонував враховуючи їх визначати середньгеометричну величину добутку поверхні  $F$  і об'єму  $V$  шматка. Якщо

$$V = k_d d_c^3 \text{ і } F = k_n d_c^2,$$

то робота на подрібнення буде дорівнювати

$$A = k_p \sqrt{d_c^2 d_c^3} = k_p d_c^{2.5}. \quad (1.5)$$

Рундквіст дану формулу запропонував записати в узагальненому вигляді

$$A = k_p d^m, \quad (1.6)$$

де  $m$  — показник степеня приймається від 2 до 3, а коефіцієнт  $k_p$  — від  $k_d$  до  $k_n$ .

Запропоновані рівняння не дозволяють вирахувати роботу на подрібнення матеріалу, бо невідомі коефіцієнтів  $k_d$  і  $k_p$ . Вони використовуються лише під час проведення експерименту та подальшого порівняння результатів подрібнення досліджуваного матеріалу на експериментальному обладнанні.

Витрата енергії за умови тонкого подрібнення, відповідно до теоретичних даних, повинна у 3...4 рази бути більшою, від крупного і середнього, але в дійсності вона в 15...20 разів є більшою. Це пояснюється тим, що переподрібнений матеріал загальмовує дію зовнішнього зусилля, яке спрямоване на подрібнення. Крім того, процес зменшення розмірів часток тіла нібито «зміцнює» їх із зменшення кількості можливих дефектів.

Це вказує на те, що робочий процес подрібнення проходить менш ефективно в машинах для тонкого подрібнення, ніж у засобах для крупного і середнього. Недоцільно в машині з однією робочою камерою подрібнювати матеріал з високим ступенем подрібнення. Краще це реалізувати у кількох робочих камерах з відводом подрібнених фракцій.

Витрати енергії можна розподілити на окремі частини робочого процесу подрібнення. Це пояснюється рівнянням балансу потужності:

$$N = N_{\text{под}} + N_{\text{ц}} + N_{\text{хх}} \quad (1.7)$$

де  $N_{\text{под}}$  — потужність, що йде на руйнування матеріалу. Вона виражається через конструктивні параметри обладнання.

$N_{\text{ц}}$  — потужність, яка йде на циркуляцію матеріалу в робочій камері;

$N_{\text{хх}}$  — потужність холостого ходу.

Потужність на холостий хід приймаються рівними 15-20% від  $N_{\text{под}}$ , разом з витратами на вентиляцію.

Таким чином, повна витрата потужності буде дорівнювати:

$$N = (1,15 \dots 1,20)N_{\text{под.}}$$

#### 1.4. Параметри подрібнювальних машин ударної дії

Охарактеризувати роботу подрібнювальних машин можна за чотирма показниками: ступеню подрібнення, продуктивністю, споживча потужність, питомою витратою енергії і двома характеристиками. Одна з них (робоча) визначає залежність між споживчою потужністю і продуктивністю за умови постійної крупності готового продукту, друга – між зміною питомої витрати дроблення від продуктивності.

У свою чергу, ці визначальні показники сформовані у дві групи: до першої відносяться конструктивні параметри обладнання (довжина і діаметр ротора, частота його обертання і число молотків на ньому, вид сепарування), а до другої – параметри, що визначають режим роботи обладнання та властивості подрібнювального матеріалу зокрема, вологість, попередні розміри матеріалу, ступінь подрібнення, здатність його до розмелювання тощо.

Найбільшого значення мають показники першої групи, а з другої – важливими є крупність і здатність до розмелювання.

Досягнути оптимальної продуктивності обладнання можна тоді, коли спожиті питомі витрати енергії є мінімальними. Відхилення від оптимальної приводить до збільшення витрат енергії.

Спираючись на виробничі результати, встановлено між продуктивністю і потужністю залежність у вигляді формули

$$B = C (N - a N_{xx})^q, \quad (1.8)$$

де  $N_{xx}$  – потужність у момент холостого ходу;

$C, a, q$  – коефіцієнти.

Коефіцієнт  $a$  залежить від багатьох чинників (параметрів дробарки сепаратора, властивостей матеріалу, ступінь подрібнення) і приймають рівним 0,7. Показник  $q$  залежить від конструкції сепаратора в середині дробарки і коливається від 0,5 до 0,9.

Також відомо, що чим більша продуктивність тим більші повинні бути конструктивні параметри обладнання (розміри ротора, зокрема його довжина і

діаметр) за однакових інших умов. Прийнято вважати, що довжині ротора пропорційно впливає на продуктивність дробарки. Це підтверджується відношенням  $L/D$ , яке повинно бути в межах  $0,6 \dots 2,0$ .

Швидкість, як чинник руйнування для молоткової дробарки, можна визначити за формулою:

$$\vartheta_{\text{уд}} = \vartheta_{\text{руйн}} = \sqrt{k_3(0,81 + 2,3 \lg \lambda_3)}, \quad (1.9)$$

де  $\vartheta_{\text{руйн}}$  – швидкість руйнування з багатократною взаємодією робочих органів з подрібнювальним матеріалом.

Ця формула уможливорює пов'язати режими роботи обладнання з міцносними характеристиками подрібнювального матеріалу та ступенем його подрібнення.

Ефективність робочого процесу подрібнення може бути визначена комплексно, оскільки вона залежить від великої кількості факторів. Так швидкість молотків повинна назначатись з врахуванням кількості ударів та їх інтенсивність, терміну перебування матеріалу в камері подрібнення, параметрів дробарки.

### **1.5. Машини для подрібнення матеріалів.**

Залежно від заданого ступеня подрібнення матеріалу та його міцностних властивостей вибирається вид подрібнювального обладнання. Зазвичай, класифікація подрібнювальних машини проводиться за ступенем подрібнення. Вони поділяються на дробарки, тобто засоби дроблення матеріалів і млини – машини для помелу.

Для ефективного подрібнення міцних матеріалів рекомендуються машини за принципом дії роздавлювання і розколювання, для матеріалів середньої твердості — удару і роздавлювання, а для малої — удару, стирання і роздавлювання.

Як правило, найчастіше для подрібнення використовують щоківі (рис. 1.2, *а, б*), конусні (*в*), молоткові (*д*) і роторні (*е*) дробарки, валкові (*г*), та бігуни (*ж*).



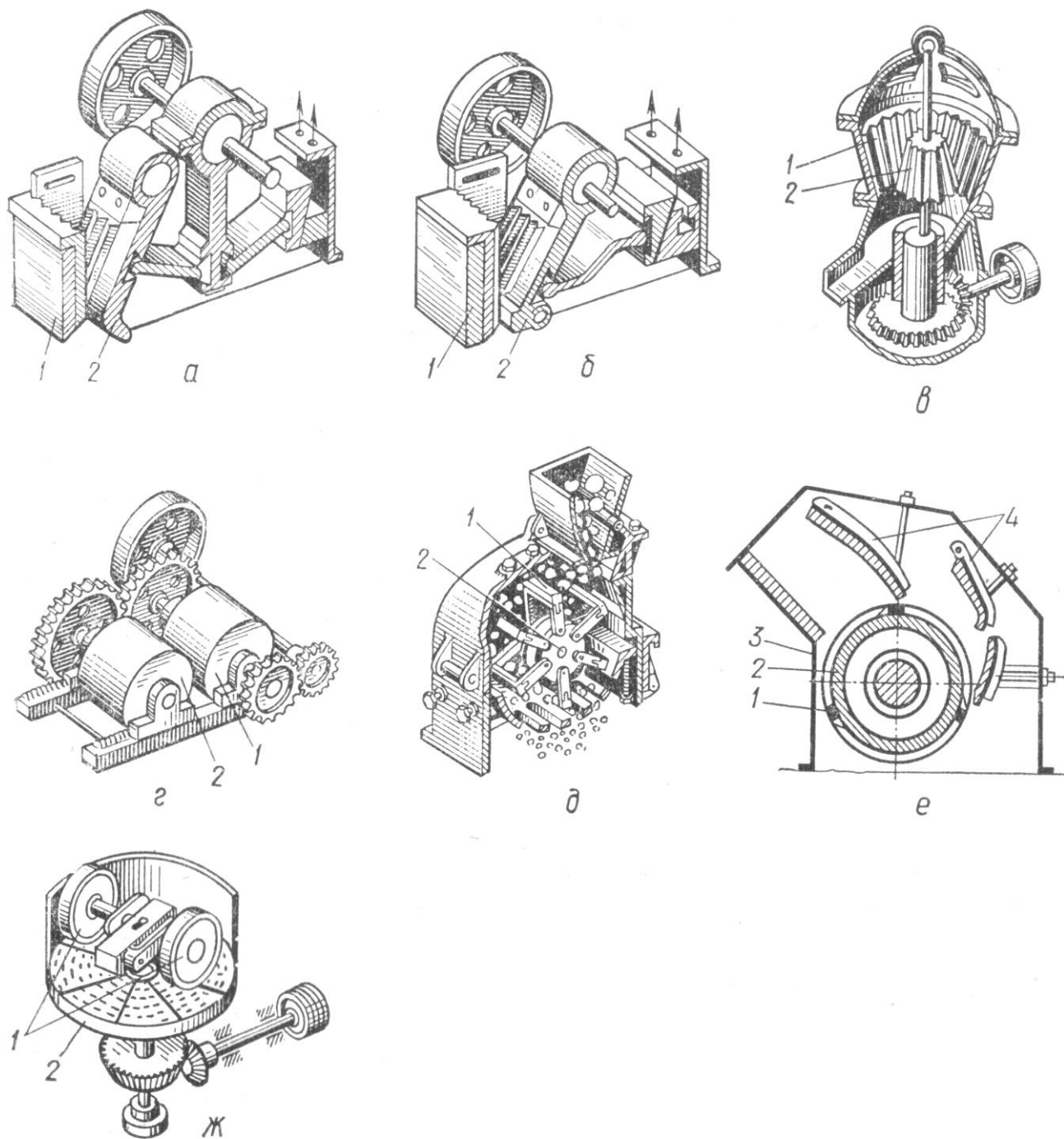


Рис. 1.2. Дробарки:

*а* — щокова з простим і *б* — зі складним коливанням щоки; *в* — конусна; *д* — молоткова; *г* — валкова; *е* — роторна; *ж* — бігуни.

Засоби для помелу (млини) за принципом дії поділяються на два види:

– млини, в яких руйнування здійснюється шляхом взаємодії матеріалу з робочими тілами (робочим середовищем);

— млини, в яких подрібнення здійснюється шляхом взаємодії матеріалу з навколишнім середовищем — газу чи рідини.

Для пористих матеріалів використовують швидке нагрів їх. У цьому випадку руйнування здійснюється шляхом дії внутрішнього високого тиску.

Зазвичай у будівельній промисловості застосовуються млини, за принцип роботи яких покладено механічне руйнування. До них (рис. 1.3) відносяться: барабанні (а); маятниково-роликові (б), молоткові (в), дезінтегратори (г), барабанні (д), вібраційні (е), а також струменеві (ж).

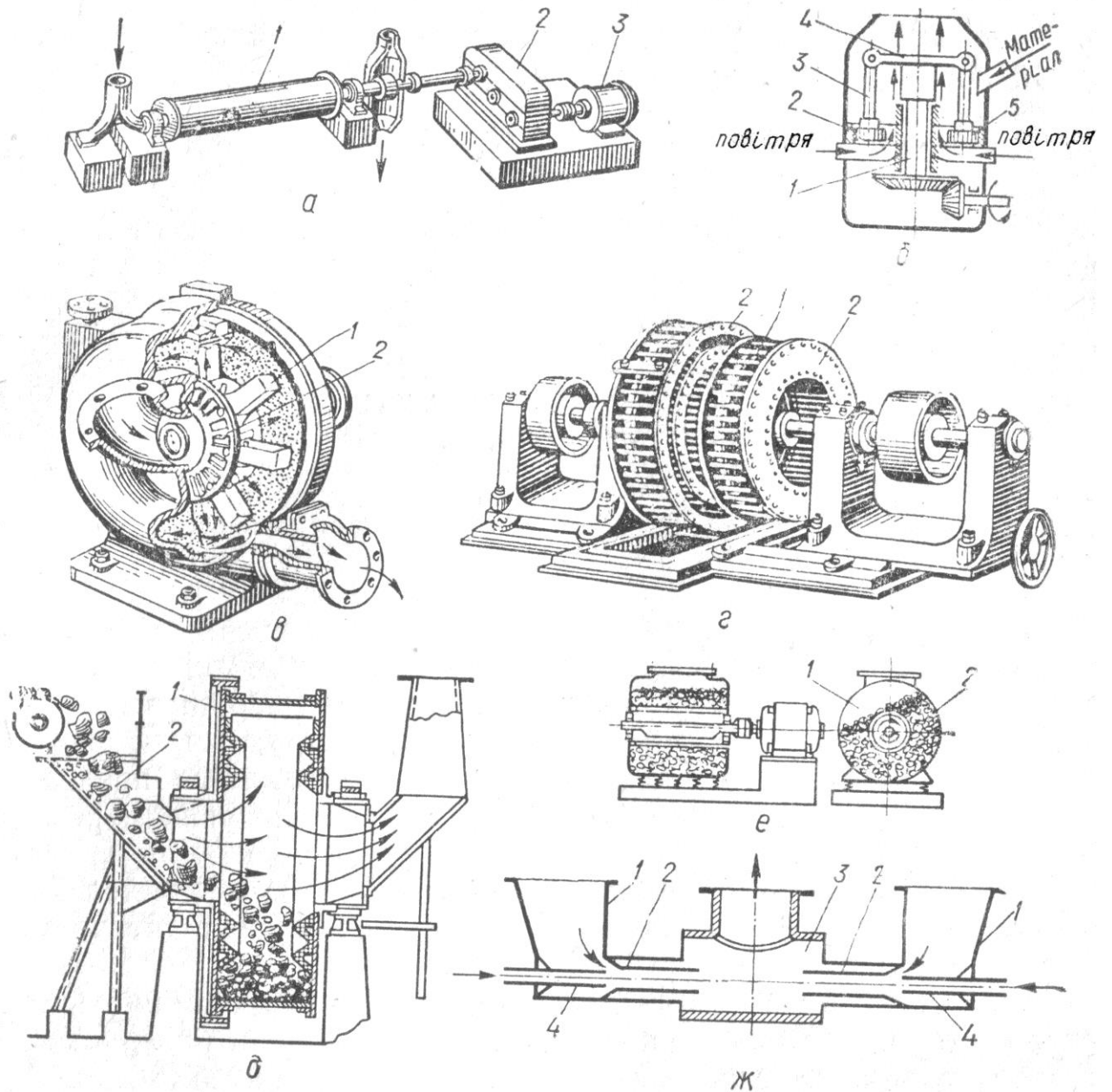


Рис. 1.3. Млини: а — барабанні; б — маятниково-роликові; в — молоткові; г — дезінтегратори; д — млин само подрібнення; е — вібраційні; ж — струменеві.

Найбільш поширеними є барабанні млини. В робочу камеру завантажуються подрібнювальний матеріал і робоче середовище (помольні тіла). В результаті обертання барабана під дією відцентрових сил і сил тертя помольних тіл і матеріалу, а також під дією удару, розколювання і стирання матеріал подрібнюється. Крім того, ці млини класифікуються за видом і принципом роботи.

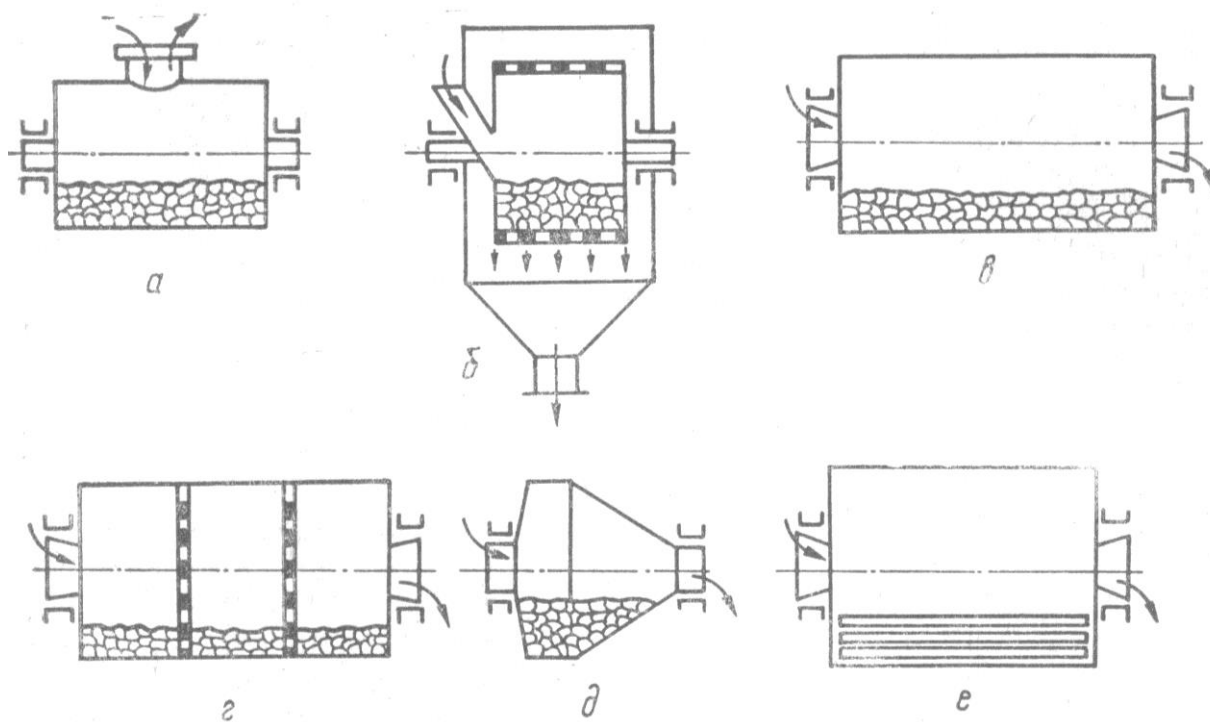


Рис. 1.4. Барабанні млини:

*a* – кульові періодичної дії; *б* – кульові з периферійним розвантаженням; *в* – кульові циліндричні; *г* – багатокамерні трубні; *д* – циліндрично-конічний; *е* – барабанні стрижньові млини.

Вібраційні млини, як об'єкт наших досліджень, заслуговують особливої уваги. Вони використовуються для тонкого і надтонкого помелу (1...10 мкм) або повторного помелу дрібнозернистих продуктів і в залежності від приводу з інерційним, гравітаційним та електромагнітним збудувачем коливань.

Відмінність робочого процесу від інших полягає в тому, що робоча камера цих млинів здійснює коливання з високою частотою і як результат в середині камери з'являється ефект віброкипіння сипкого матеріалу. Під дією вібраційного поля у робочій камері млина відбувається циркуляція усієї завантаженої маси. Головним чинником інтенсифікації процесів вібраційного

подрібнення є інтенсивне відносно переміщення всіх складових механічної системи разом із завантаженням.

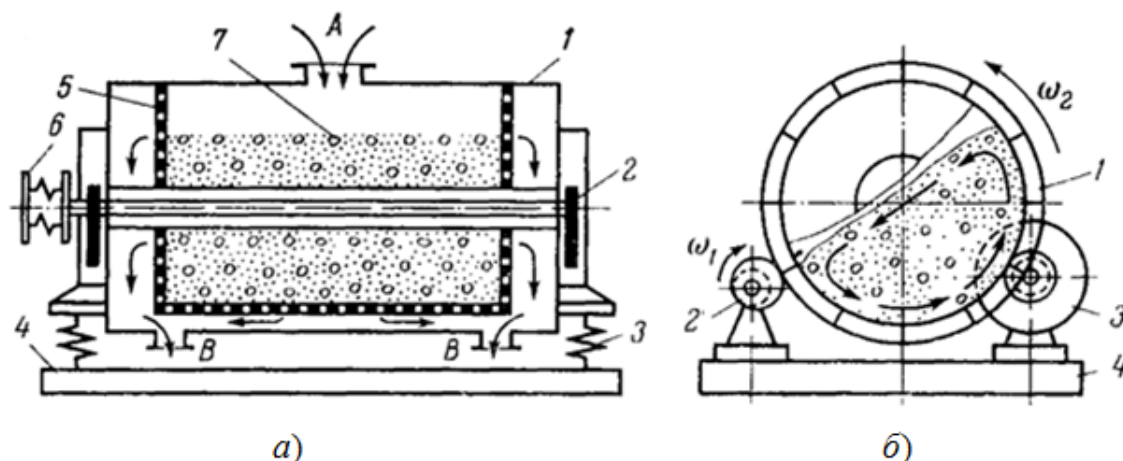


Рис. 1.5. Схеми вібраційних млинів: *a*) – з інерційним приводом (1 – робоча камера; 2 – дебалансний вібропривод; 3 – пружні елементи; 4 – опорна рама; 5 – сито; 6 – муфта; 7 – робоче середовище з мельючими тілами; А – завантаження; В – готовий продукт);

*б*) – з ексцентриковим приводом і обертальною камерою (1 – робоча камера; 2 – приводний ексцентриковий ролик; 3 – опорний ролик; 4 – рама;  $\omega_1$  і  $\omega_2$  – кутові швидкості приводного ролика і робочої камери відповідно)

## 1.6. Шляхи модернізації подрібнювальних машин для сипких матеріалів

Основною задачею в проектуванні високоефективних дробарок є підвищення продуктивності і розширення області застосування. Удосконалення вібраційних млинів і дробарок відбувається у напрямку зростання к.к.д. робочого процесу на підставі зміни форми і розмірів робочої камери та помольних тіл і визначення оптимальних режимів коливань. У сучасних високоефективних конструкціях дробарок застосовуються нові або ж комбінації різних ефектів, а також створення надійних регульовальних віброприводів, які забезпечують оптимальні режими роботи.

Так конусні, щоківі та деякі роторні дробарки працюють не лише за традиційним способом подрібнення, але і з поєднанням вібрації. Така організація робочого процесу уможливорює додатковий відносний рух матеріалу

в зоні подрібнення та його відведення. Для ефективного використання роторних дробарок і поліпшення умов подрібнення, пропонується жорстке кріплення робочих елементів замінити на пружне. Для реалізації цієї ідеї запропонована конструкція роторної дробарки з пружним підвісом біла, яке виконує дві функції – ударне руйнування матеріалу та його протирання.

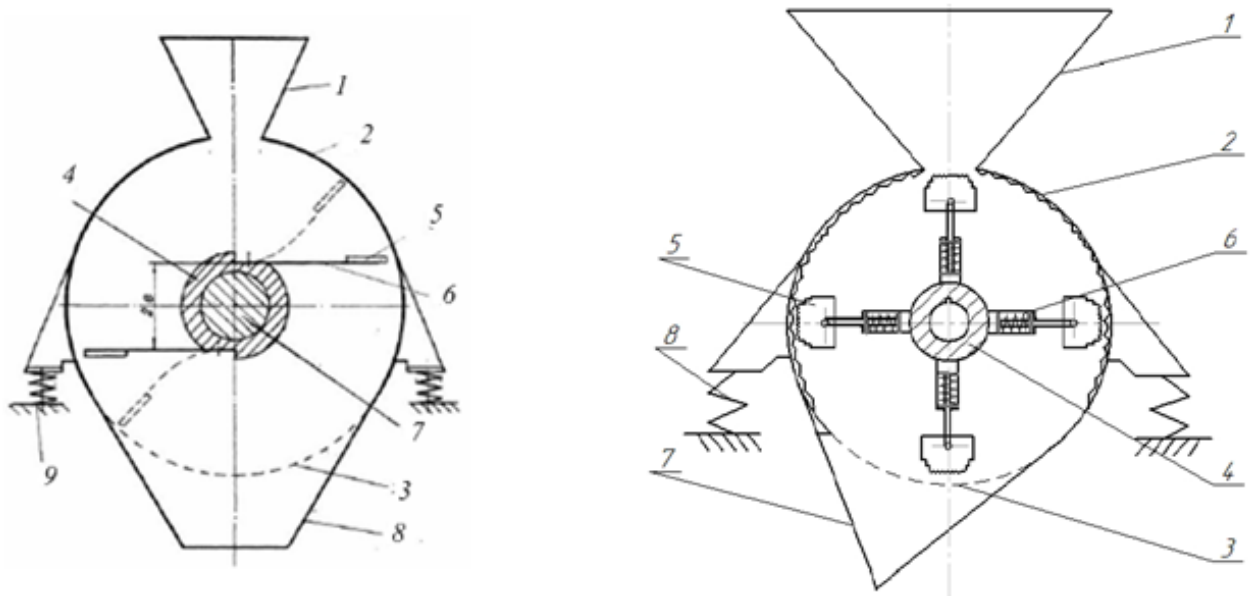


Рис. 1.6. Дробарки на пружній основі та з пружним кріпленням молотків:

1 – бункер; 2 – корпус; 3 – сито; 4 – ротор; 5 – молоток; 6 – пружина; 7 – вивантажувальний патрубок; 8 – пружна опора

Відомі дробарки, у яких поєднуються процеси руйнування матеріалу з вібрацією сита або корпусу пристрою. Це можна реалізувати тим, що подрібнювальний матеріал надходить у камеру крізь вібруюче решето. Відома конструкція дробарки, сепарувальну решітку або елементи її закріплені на пружних елементах. Завдяки створених вібратором коливань та періодична зміна віддалі між молотками та поверхнею решітки покращуються умови взаємодії робочого органу з подрібнювальним матеріалом та сепарування.

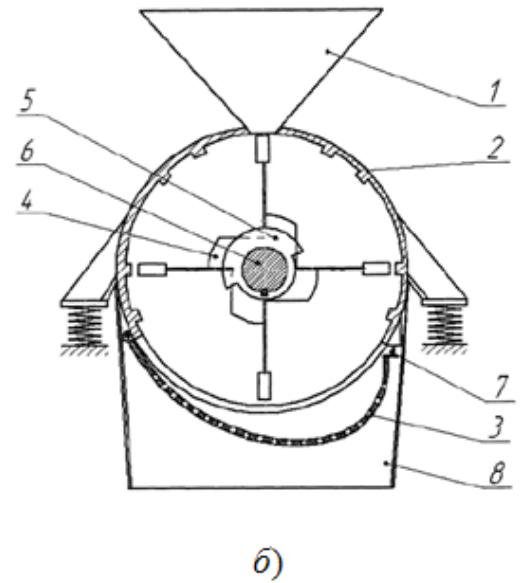
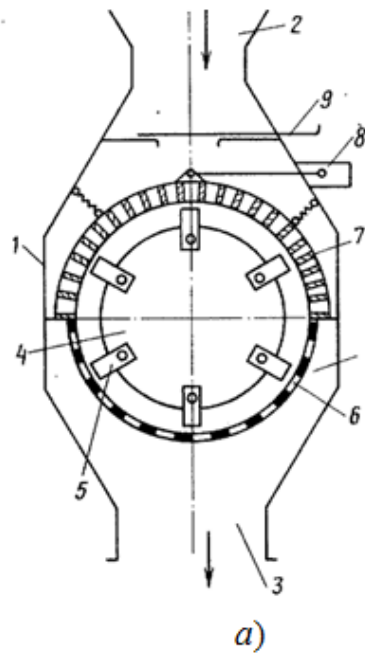


Рис. 1.7. Дробарки з вібруючим ситом:

а) – 1 – корпус; 2 і 3 – завантажувальний і вивантажувальний патрубки; 4 – ротор; 5 – молотки; 6 – сито; 7 – решето; 8 – вібратор; 9 – заслінка;

б) – 1 – бункер; 2 – корпус; 3 – сито; 4 – ротор з пружним кріпленням молотків; 5 – дебаланс; 6 – вал; 7 – пружина; 8 – вивантажувальний патрубок

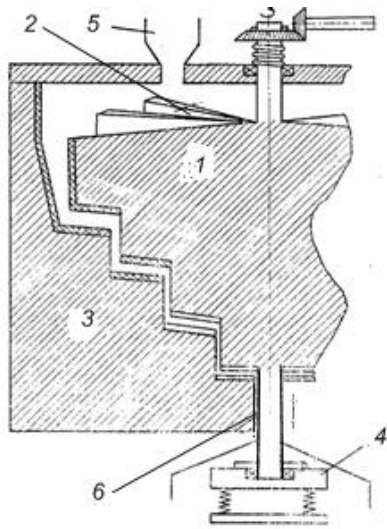


Рис. 1.8. Вертикальна дробарка тонкого помелу: 1,2 – ротор; 3 – корпус; 4 – вібропривод; 5 і 6 – вивантажувальний і завантажувальний патрубки

Відома конструкція вертикальної дробарки, у роботі якої раціонально поєднано вібрацію з ударом. У цій дробарці барабан та ротор – профільні, а повздовжня вісь ротора, навколо якої він обертається, – вертикальна. Під час роботи її ротор крім обертального руху, завдяки роботі віброприводу коливається вздовж своєї осі. Такий його рух та динамічне навантаження, від дії вібрації, створює додаткове подрібнення матеріалу і уможливорює відвід дрібних фракцій з камери подрібнення.

Відоме також обладнання, яке містить окремо взяті вібраційні пристрої. На рис. 1.9 показаний приклад такого комплексу. Машина складається з таких пристроїв: бункер, магнітний сепаратор, перфорований транспортувальний вібралоток з інерційним приводом, подрібнювальна камера, сито, шнековий транспортер для вивантаження готового продукту, привод. Така конструкція подрібнювальної машини значно підвищує ефективність її роботи та покращує якість готового продукту.

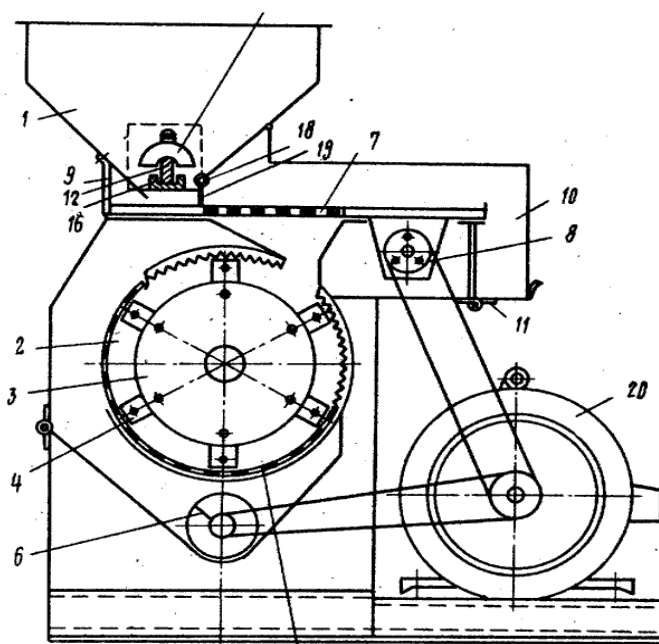


Рис. 1.9. Дробака: 1 – бункер; 2 – електромагнітний сепаратор; 3 – вібралоток; 4 – робоча камери; 5 – сито; 6 – шнек; 7 – привод

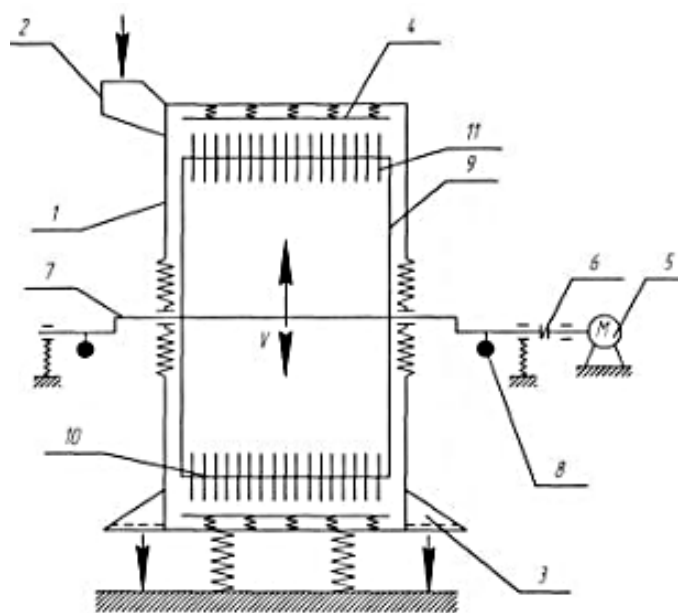


Рис. 1.10. Принципіальна схема вібраторної дробарки

На рис. 1.10 показана принципіальна схема вібраторної дробарки. З метою інтенсифікації процесу дроблення конструкція дробарки виконана у вигляді механічної коливальної системи, під час роботи якої генеруються складні (комбіновані) обертальні та коливальні рухи робочих елементів. Конструкція корпусу і ротора дробарки передбачають пружне їх кріплення. Вал ротора урухомлюється ексцентриковим віброприводом.

Реалізований за таких умов складний рух виконавчих органів дробарки дозволяє значно збільшити їх динамічне навантаження на оброблювальний матеріал і, як наслідок, підвищити продуктивність та якість процесу подрібнення.

Йдучи шляхом об'єднання вібрації з основним технологічним процесом, можна передбачити що, за певних режимів коливання корпусу подрібнювальних машин ударної дії, вібрація сприятиме руйнуванню продуктово–повітряного шару матеріалу. Крім того, пружний ротор роторної дробарки і молотки молоткових дробарок за умови раціонального підбору пружності опор корпусу машини, будуть мати більші амплітуди відносних коливань.

Таке поєднання дає можливість розробникам вдосконалювати конструкції подрібнювальних машин, що забезпечуватиме, насамперед, збільшення енергетичного коефіцієнта корисної дії та зменшення нерівномірності гранулометричного складу готового продукту. Навіть незначне підвищення цих показників дасть у перспективі відчутний економічний ефект.

### **1.7. Висновки**

Проаналізувавши шляхи удосконалення подрібнювальних машин ударної дії встановлено, що основним чинником руйнування матеріалу є динамічне навантаження робочого органу на нього. Одним із шляхів підвищення ефективності робочого процесу є генерування додаткового впливу на відносний рух компонентів сипкого матеріалу та елементів обладнання.

Такі умови можна створити завдяки розташування подрібнювальної машини у вібраційне поле, тобто генеровані механічні коливання (вібрація) будуть впливати як на складові обладнання, технологічне середовище (повітряно-продуктовий шар) так і пристрої відводу готової продукції (сепарувальні засоби) із камери подрібнення.

Ефективність процесу буде реалізована лише тоді, коли параметри елементів пружного кріплення корпусу дробарки і кріплення сепаратора відповідатимуть необхідним параметрам коливань (частота і амплітуда).



*Мета роботи.* Вдосконалення конструкції молоткової дробарки з метою поліпшення якості готового продукту на підставі використання вібрації у технологічному процесі подрібнення.

Для досягнення мети розв'язуються такі *задачі дослідження*:

- аналіз конструкції та особливості подрібнення у дробарках ударної дії;
- обґрунтувати конструктивні параметри молоткової дробарки;
- ознайомлення з методикою розрахунку технологічних і конструктивних параметрів молоткової дробарки;
- провести експериментальні дослідження з оптимізації конструктивних і технологічних параметрів молоткової дробарки;
- розробити заходи щодо охорони праці та економічної ефективності запропонованої молоткової дробарки;

*Об'єкт дослідження:* технологічний процес молоткової дробарки зерна і засоби для його здійснення.

*Предмет дослідження:* закономірності процесу подрібнення зерна в робочій камері дробарки у вібраційному полі.

*Практична значимість.* Використання запропонованої дробарки дозволить знизити витрату енергії під час подрібнення зерна та вирівняти гранулометричний склад готового продукту, тобто підвищити ефективність робочого процесу подрібнення.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

Для дослідження роботи подрібнювальних машин використовуються аналітичні залежності на підставі рівнянь Лагранджа II роду. Завдяки їм знаходились сили задіяні у робочий процес подрібнення, моменти сил тертя в опорах ротора і шарнірному підвісі молотків. За наявності передавального механізму визначались його характеристики відносно приводного двигуна і ротора, положення молотків між рядами і кількість цих рядів тощо. Проте запропоновані залежності, що уможливають описати роботу самих машин але не можуть дати оцінку якості подрібненого матеріалу.

#### 2.1. Інженерний розрахунок параметрів молоткової дробарки

Процеси подрібнення застосовуються не лише у різних галузях промисловості, але й в агропромисловому комплексі. В залежності ефективності проведення цієї технологічної операції залежить якість і обсяги випуску їх продукції  $U$  свою чергу характеристика подрібнювального матеріалу визначає тип, конструкцію подрібнювальної машини, серед яких найпоширенішими є роторні і молоткові дробарки.

Конструктивні параметри дробарки визначаються виходячи з проектною продуктивності обладнання. Діаметр її ротора знаходиться з виразу

$$D = \sqrt{\frac{K Q}{g'}}, \text{ м}$$

де  $K = D/L$  – коефіцієнт пропорційності ротора;

$D$  і  $L$  – відповідно діаметр і довжина ротора; для дробарок з периферійним завантаженням  $K = 1...2$ , а з осьовим завантаженням –  $K = 4...7$ ;

$Q$  – продуктивність подрібнювача, кг/с;

$g'$  – питома навантаження пристрою. Воно залежить від кутової швидкості ротора. Так під час подрібнення зерна –  $g' = 3...6$  кг/с,  $V_m = 60...80$  м/с,

коренеплодів –  $g' = 2...4 \text{ кг/с}$  ,  $V_m = 45...55 \text{ м/с}$ , а зв'язних матеріалів –  $V_m = 80...100 \text{ м/с}$ .

Довжина ротора подрібнювача визначається за формулою

$$L = \frac{D}{K}, \text{ м.}$$

Знаходження параметрів робочих елементів (молотків) та визначення їх кількості. Під час Налаштування дробарок полягає у тому, що ротор з шарнірно закріпленими молотками повинен був зрівноваженим. У цьому випадку ударні імпульси не передаватимуться від молотків, їх вісь та бокових дисків на підшипникові опори. Ця умова убезпечує обладнання (їх підшипники) виходу з ладу. У «зрівноважених на удар» молотках[ повинні виконувється умова:

$$\rho^2 = c l, \text{ м}^2,$$

де  $\rho$  – радіус його інерції відносно осі підвісу, м;

$c$  – відстань від осі до центру його ваги, м;

$l$  – відстань від осі підвісу до його кінця, м.

Для надійного і стійкого руху необхідно забезпечити відповідну довжину  $l$  та радіус  $R_n$  встановлення молотка.

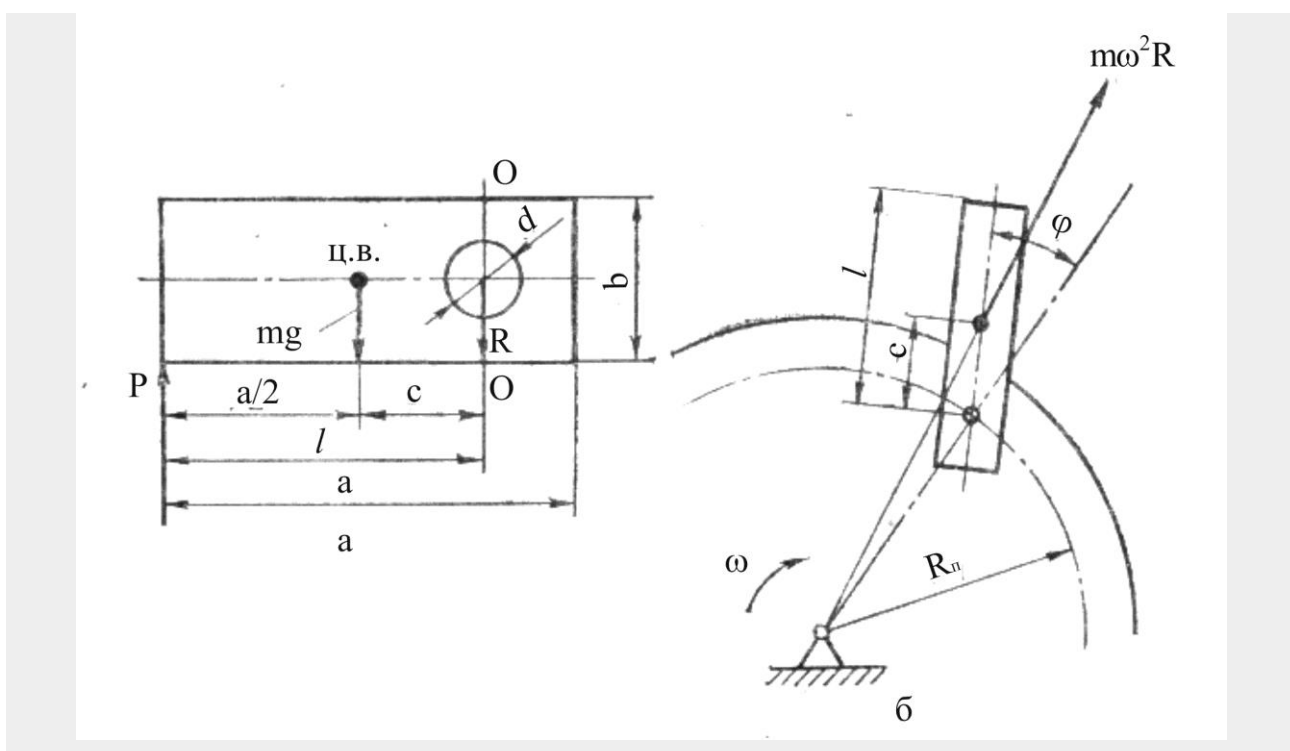


Рис. 2.1. Силове навантаження на молоток, (а) і схема його роботи за принципом фізичного маятника (б)

Інші конструктивні параметри робочого органу визначаються за наступними імперичними формулами.

Радіус підвісу молотка

$$R_{\text{п}} = 0,346 \cdot D, \text{ м}$$

Відстань від точки осі підвісу молотка до кінця молотка

$$l = 0,154 \cdot D, \text{ м.}$$

Довжина молотка

$$a \approx 1,5 \cdot l, \text{ м.}$$

Ширина молотка

$$b \approx 0,1 \cdot D, \text{ м.}$$

Відстань від осі до центра ваги молотка прямокутної форми з двома отворами

$$C = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B}, \text{ м,}$$

де 
$$A = \frac{a^2 \cdot b}{\pi \cdot d^2} - \frac{a}{2}; \quad B = \frac{a \cdot b(a^2 + b^2)}{6\pi \cdot d^2} + \frac{d^2}{8},$$

$d$  – діаметр отвору підвісу ( $d = 0,0205$  м).

2.3.6. Кількість молотків знаходимо з виразу

$$z = \frac{L - \Delta L}{\delta + S} \cdot K_z, \text{ шт}$$

де  $\Delta L$  – сумарна товщина дисків, м;

$K_z$  – число молотків, в одному сліді ( $K_z = 1 \dots 6$ );

$\delta$  – товщина молотків, м;

$S$  – відстань між молотками, м.

## 2.2. Кінематичний розрахунок молоткової дробарки

Цей вид розрахунку полягає у визначенні швидкості руйнування матеріалу, робочої швидкості робочих органів, частота їх ударів, швидкість обертання вала ротора.

Так швидкість руйнування матеріалу за умови одноразового удару

$$V_{\text{руйн}} = \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot K_d \cdot \sigma_{\text{вст}} \cdot \ln \frac{a}{x_1}}, \text{ м/с,}$$

де  $K_d$  – коефіцієнт динамічності,  $K_d \approx 1,4 \dots 2,0$ ;

$\sigma_{\text{вст}}$  – границя міцності частинки матеріалу у статиці, МПа;

$a$  – довжина частинки матеріалу, м;

$x_1$  – довжина недеформованої частинки матеріалу після удару, м;

$\rho$  – щільність матеріалу, що подрібнюється, кг/м<sup>3</sup>.

Швидкість руйнування матеріалу за умови багаторазового удару,

$$V'_{\text{руйн}} = \sqrt{K_3 \cdot (0,81 + 2,3 \cdot \lg \lambda)}, \text{ м/с,}$$

де  $K_3$  – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу

$$K_3 = \frac{K_d \cdot \sigma_{\text{вст}}}{\rho};$$

$\lambda$  – ступінь подрібнення матеріалу.

Необхідна швидкість молотків ротора для подрібнення матеріалу

$$V_m = V'_{\text{руйн}} / (1 + \beta), \text{ м/с,}$$

де  $\beta = \frac{V_{\text{ппш}}}{V_{\text{руйн}}} = 0,4 \dots 0,5;$

$V_{\text{ппш}}$  – швидкість руху повітряно – продуктового шару, м/с.

За результатами експериментальних досліджень, швидкість молотків під час одноразового удару по елементу сипкого матеріалу повинна бути у 1,5-2 рази більшою від  $V_{\text{руйн}}$ .

Кількість ударів заданої інтенсивності, яка відповідає для одержання аданого ступеня подрібнення

$$z_{\text{уд}} = \lambda(\lambda - 0,445).$$

3.5. Необхідна частота обертання ротора  $n$  і його кутова швидкість  $\omega$

$$n = \frac{V_M}{\pi \cdot D}, \text{ об/с,}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ с}^{-1},$$

де  $V_M$  – швидкість обертання молотка, м/с.

### 2.3. Робота молоткової подрібнювальної машини відомої схеми

Робота молоткової дробарки відрізняється від інших засобів тим, що у їх конструкції передбачено шарнірне кріплення молотків на роторі машини. Таке виконання уможливорює більш інтенсивно взаємодіяти їх повітряно-продуктовим шаром (ППШ). Рухаючись навколо осі молоток впливає на швидкість ППШ, надає його частинкам радіальної складової вектора швидкості. Так для центра маси молотка вона буде дорівнювати:

$$\mathcal{G}_{\text{CM}}^r = I_M \cdot \dot{\gamma} \cdot \sin \xi.$$

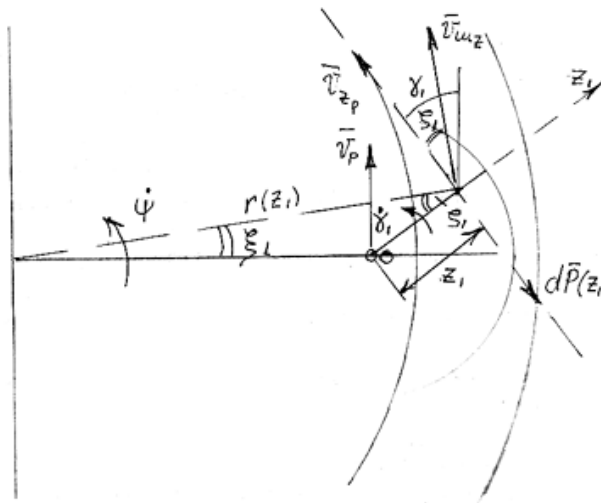


Рис. 2.2. Кінематика частинок ППШ і робочого органу

Оскільки молотки здійснюють складний рух у відношенні до корпусу і ротора машини, момент опору середовища у цьому випадку можна оцінити з виразу:

$$M_{\text{он}}^{\psi_i} = -\frac{\alpha_{\text{ш}} L \delta \rho_M}{(R_{\text{шз}} - R_{\text{шв}})^3} \sum_{i=1}^2 \int_{z_i \text{ поч}}^{l_{\text{мм}}} (z_i + l_p \cos \gamma_i) \times [\mathcal{G}(z_i) - R_{\text{шв}}]^3 \times$$

$$\times \left\{ \dot{\psi} l_p \cos \gamma_i + \dot{\gamma}_i z_i \right\} - \left[ A_v + \frac{B_v}{\mathcal{G}(z_i)} \right] \omega_H \cdot (z_i + l_p \cos \gamma_i)^2 dz_i \quad (2.1)$$

Проектуючи молоткову дробарку необхідно визначити реакції в опорах вала ротора, постільки під час обертання з вільно підвішеними молотками він є незбалансованим. Наближено їх можна знайти із залежності:

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} m_M l_M \left\{ \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 - (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} - \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 - (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} \right\}. \quad (2.2)$$

На рисунку 2.2 показана принципова схема молоткової дробарки. За узагальненими координатами прийняті кути  $\Psi, \gamma_l, \gamma_n, \beta$ . Беручи до уваги, що узагальнені координати  $x_1, y_1, \phi$  в математичній моделі роботи засобів ударної дії є постійними величинами то вона набуває вигляду:

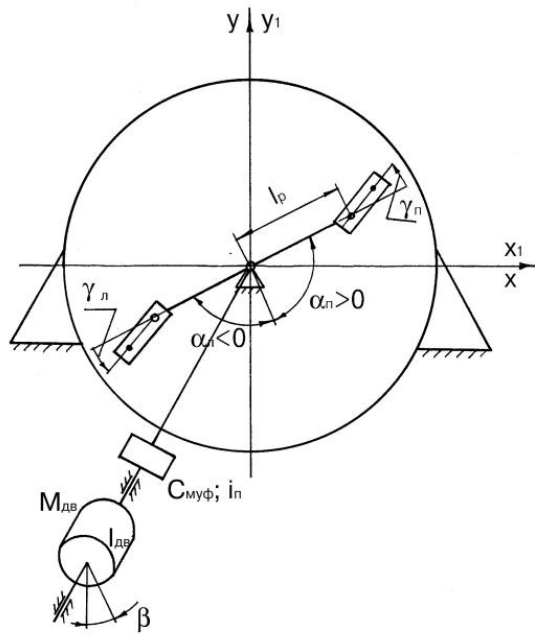


Рис.2.3. Принципова схема молоткової дробарки

$$\left\{ \begin{aligned} & \ddot{\psi} \cdot I_{\text{вш}} + \sum_{i=1}^2 \ddot{\gamma}_i I_{m_i} + \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_i (2\dot{\psi} + \dot{\gamma}_i) \times (l_{3i} M_{8i} - l_{4i} M_{7i}) = c_{\text{mv}\phi} (\beta - i_M \psi) \dot{i}_M - \\ & - g \sum_{i=1}^2 M_{9i} - \sum M_{\text{он}}^{\psi_i}; \\ & \ddot{\psi} \cdot I_{m_i} + \ddot{\gamma}_i (I_M + m_M l_M^2) - \dot{\psi}^2 (l_{3i} M_{8i} - l_{4i} M_{7i}) = Q_{\dot{\gamma}_i}, \quad i = 1, 2; \\ & \ddot{\beta} I_{\text{де}} = -c_{\text{mv}\phi} (\beta - i_M \psi) + M_{\text{де}} (\dot{\beta}); \end{aligned} \right. \quad (2.3)$$

де  $I_{\text{в.ш}} = I_{\text{в}} + 2I_{\text{м}} + I_{\text{д}} + m_{\text{м}} \sum_{i=1}^2 (l_{3i}^2 + l_{4i}^2);$

$$I_{m_i} = I_M + l_{3i} M_{7i} + l_{4i} M_{8i}; \quad M_{9i} = m_M l_{3i};$$

$Q_{\gamma_i}$  – визначається з формул, в залежності від умов:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1) \text{коли } \dot{\gamma}_i = 0 \text{ та} \\ \frac{1}{2} f_m d_m \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 - (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} \geq g \cdot |\sin(\psi_i + \gamma_i)|, \\ \text{тоді } Q_{\gamma_i} = -M_{оп}^{\gamma_i}; \end{array} \right. \quad (2.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2) \text{коли } \dot{\gamma}_i = 0 \text{ та} \\ \frac{1}{2} f_m d_m \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 - (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} < g \cdot |\sin(\psi_i + \gamma_i)|, \\ \text{тоді } Q_{\gamma_i} = -m_m l_m \left[ g |\sin(\psi_i + \gamma_i)| - \frac{1}{2} f_m d_m \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 + (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} \right] \times \\ \times \text{sign}[\sin(\psi_i + \gamma_i)] - M_{оп}^{\gamma_i}; \end{array} \right. \quad (2.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3) \text{коли } \dot{\gamma}_i \neq 0, \text{ тоді} \\ Q_{\gamma_i} = -m_m l_m \left[ g \sin(\psi_i + \gamma_i) + \frac{1}{2} f_m d_m \sqrt{(\dot{\psi} + \dot{\gamma})^4 + (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma})^2} \cdot \text{sign}(\dot{\gamma}_i) \right] - \\ - M_{оп}^{\gamma_i}; \end{array} \right. \quad (2.6)$$

$f_m$  – коефіцієнт тертя молотків відносно осі підвісу;

$d_m$  – діаметр осі.

Цю систему рівнянь можна розв'язати чисельно, додавши ще такі дані: віддаль від центра мас молотка та віссю, коефіцієнт тертя між ними, початкове положення його, діаметр вісі підвісу.

#### **2.4. Конструктивні параметри шарнірного з'єднання “ротор – молоток”**

Як показали дослідження, під час інтенсивного обертання ротора, рух молотків відносно його є несиметричний, в результаті чого відбувається його розбалансування і додаткове навантаження на підшипники ротора. Для зменшення цього явища необхідно налаштовувати молотки на удар, тобто дотримуватися певних співвідношень у його розмірах. Крім того, вивчити вплив параметрів і режимів роботи машини, властивостей матеріалу та технологічних вимог на:

– радіальну складову  $\mathcal{Q}_{cm}^r$ ;



- швидкість  $\dot{\gamma}_i$  і максимальний кут  $\gamma_i$  відхилення молотків;
- різницю швидкостей протилежно закріплених молотків та їх кутів  $\gamma_p, \gamma_l$ .

Дослідження показали, що тертя в підвісі молотків гасить їх коливання і при однорідності ППШ у них з'являється стала величина відносного відхилення  $\gamma_i$ , ("мертва зона"). При коефіцієнті тертя "сталь по сталі" він є не більше  $1^\circ$ . При налипанні продуктів подрібненого продукту на вісь, коефіцієнт тертя збільшується, а отже і ця "мертва зона" буде змінюватись. Для оцінки цього моменту можна запропонувати формулу:

$$\gamma_{зон} = \frac{f_m \cdot d_m}{l_p},$$

де,  $d_m$  - діаметр осі;

$f_m$  - коефіцієнт тертя;

$l_p$  - відстань між віссю ротора та осі молотка.

Коливання молотків залежить від частоти обертання ротора. Цю частоту коливань можна визначити з виразу:

$$k_m = \psi \sqrt{\frac{l_p l_m m_m}{I_m + m_m l_m^2}}.$$

Відхилення молотків в усталеному режимі обладнання від кількості подрібнювального матеріалу та його властивостей. На рисунку 2.13 представлений графік коливань молотків. Початок його залежить від місця знаходження конкретного ряду молотків. Амплітуда коливань при розгоні і холостому ході рівна початковому відхиленню.

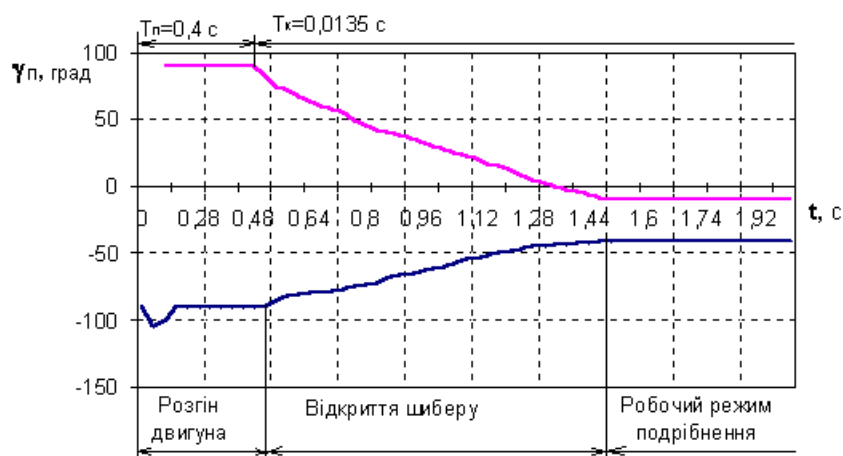


Рис.2.4. Залежність кута ( $\gamma_i$ ) відносного повороту правого молотка від часу.

Як зазначалось вище, частота коливань молотків залежить частоти обертання ротора, то на початку розгону вона незначна, а при виході – вона набуває максимального значення.

З відкриття шибера амплітуда зменшується, а їх середня лінія зміщується у від'ємну зону значень кута  $\gamma_i$ . Це зміщення залежать від властивостей і кількості матеріалу в камері подрібнення.

На відносне відхилення молотків впливає відстань  $l_m$  між віссю до центра маси молотка. Кут відхилення  $\gamma_i$  буде зменшуватись із збільшенням  $l_m$ .

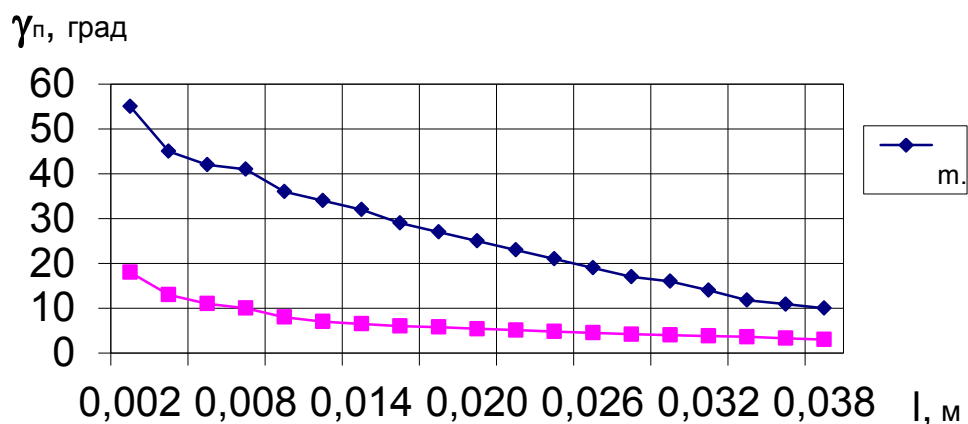


Рис.2.5. Залежність кута ( $\gamma_i$ ) відносного відхилення правого молотка від відстані  $l_m$  між віссю до центра маси

Недоліком молоткових дробарок є дещо ускладнений режим розгону, під час якого коли на початку відцентрові сили малі (бо мала швидкість) на незбалансованість ротора суттєво впливають сили тяжіння молотків. З виходом на усталений режим, їх рух залежить від відцентрових сил, які зменшують цю незбалансованість.

## 2.5. Теоретичні дослідження дробарки з пружним кріпленням корпусу

Вище було зазначено, що ефективність роботи подрібнювальних машин підвищується з застосування вібрації. Це можна реалізувати шляхом встановлення корпусу обладнання на пружну основу.

Теоретичні дослідження дробарки з пружним кріпленням корпусу можна провести використовуючи розрахункову схему (рис.2.6) з дискретно розподіленими жорсткими інерційними і пружними без інерційними

елементами. Для генерування коливань корпусу використовується дебалансний вібропривод.

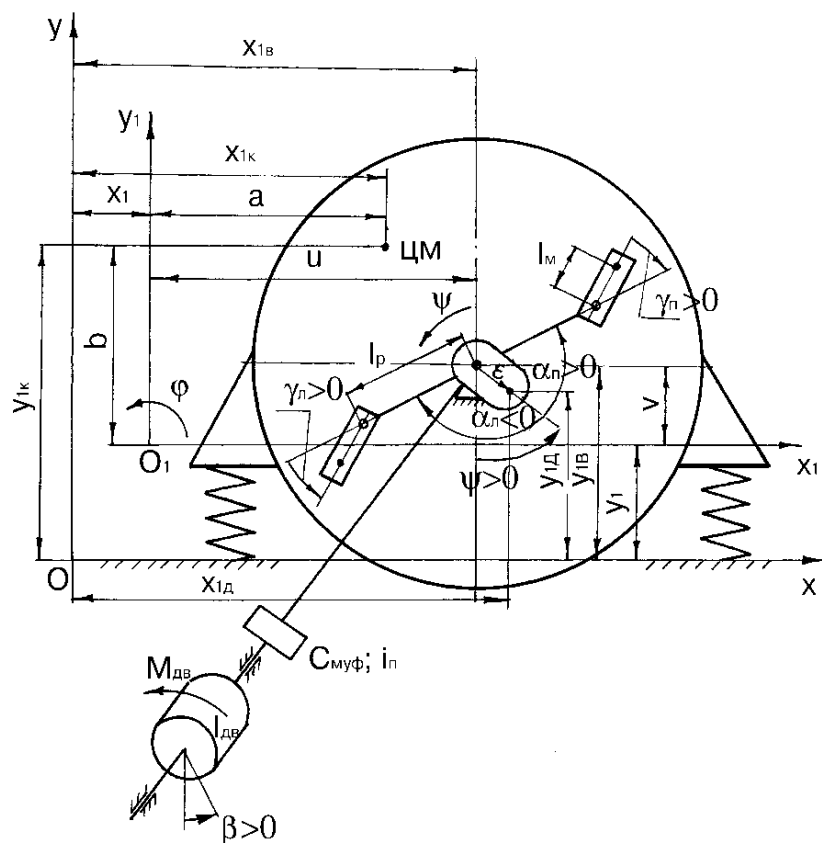


Рис. 2.6. Розрахункова схема молоткової дробарки на пружній основі

На підставі рівнянь Лагранжа II роду для цієї схеми складено систему рівнянь руху:

$$\left\{ \begin{aligned}
& \ddot{x}_1 M_M - \ddot{\phi} M_1 + \ddot{\psi} M_4 + \sum_{i=1}^2 \ddot{\gamma}_i M_{8i} - \dot{\phi}^2 M_2 - \dot{\psi}^2 M_3 - \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_i (2\dot{\psi} + \dot{\gamma}_i) M_{7i} = \\
& - (F_{01(\pi)}^x + F_{01(\pi)}^y); \\
& \ddot{y}_1 M_M - \ddot{\phi} M_2 + \ddot{\psi} M_3 + \sum_{i=1}^2 \ddot{\gamma}_i M_{7i} - \dot{\phi}^2 M_1 - \dot{\psi}^2 M_4 - \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_i (2\dot{\psi} + \dot{\gamma}_i) M_{8i} = \\
& - (F_{01(\pi)}^y + F_{01(\pi)}^x + G_k + G_B + 2G_M + G_D); \\
& - \ddot{x}_1 M_1 + \ddot{y}_1 M_2 + \ddot{\phi} [m_k (a^2 + b^2) + I_k + M_B (u^2 + v^2)] + \ddot{\psi} M_6 + \sum_{i=1}^2 \ddot{\gamma}_i M_{12i} + \\
& + \dot{\psi}^2 M_5 + \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_i (2\dot{\psi} + \dot{\gamma}_i) M_{11i} = - \left[ M_{Gk} + M_{GB} + \sum_{i=1}^2 M_{GM(i)} + M_{GD} + M(F_{01(\pi)}^x) + \right. \\
& \left. + M(F_{01(\pi)}^y) + M(F_{01(\pi)}^x) + M(F_{01(\pi)}^y) \right]; \\
& \ddot{x}_1 M_4 + \ddot{y}_1 M_3 + \ddot{\phi} M_6 + \ddot{\psi} \left[ m_d \varepsilon^2 + I_B + 2I_M + I_D + m_M \sum_{i=1}^2 (l_{4i}^2 + l_{3i}^2) \right] + \\
& + \sum_{i=1}^2 \ddot{\gamma}_i (l_{4i} M_{8i} + l_{3i} M_{7i} + I_M) - \dot{\phi}^2 M_5 + \sum_{i=1}^2 \dot{\gamma}_i (2\dot{\psi} + \dot{\gamma}_i) (-l_{4i} M_{7i} + l_{3i} M_{8i}) = \\
& = c_{\text{муф}} (\beta - \psi) - \left[ M_{GD}^* - \sum_{i=1}^2 M_{GM(i)}^* \right]; \tag{2.57} \\
& \ddot{x}_1 M_{8i} + \ddot{y}_1 M_{7i} + \ddot{\phi} M_{12i} + \ddot{\psi} (l_{4i} M_{8i} + l_{3i} M_{7i} + I_M) + \ddot{\gamma}_i (l_M^2 m_M + I_M) - \\
& - \dot{\phi}^2 M_{11i} + \dot{\psi}^2 (-l_{3i} M_{8i} + l_{4i} M_{7i}) = Q_{\gamma_i}; \quad i = 1, 2 \\
& I_{\text{дв}} \ddot{\beta} = M_{\text{дв}} - c_{\text{муф}} (\beta - \psi) .
\end{aligned} \right.$$

На підставі дослідних результатів зроблені такі висновки.

1. Вібрування корпусу дробарки не впливає на роботу її приводу (двигуна). Реакція поведінки приводу на зміну подрібнювального матеріалу, його властивостей та продуктивність аналогічна з дробаркою із жорстким кріпленням.

2. Пружне кріплення дробарки сприяє з'явленню додаткових власних частот коливань. Їх можна знайти із співвідношення між моментом інерції і масою, жорсткістю пружних опор у вертикальному і горизонтальному напрямках та місця їх встановлення.

3. Амплітуда коливань корпусу та її форма значень у вертикальній площині залежить від маси дебалансу вібропривода, частоти обертання ротора, відстані між віссю і центром мас молотка, жорсткості пружних опор і маси корпусу.

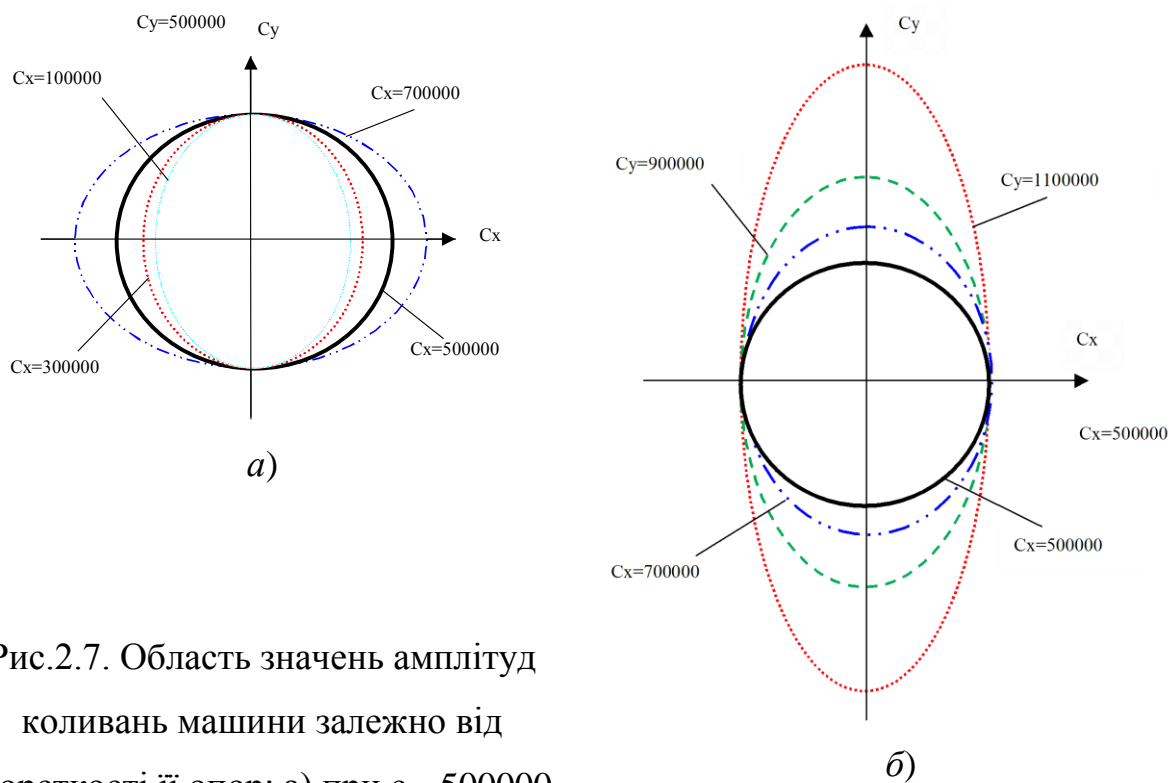


Рис.2.7. Область значень амплітуд коливань машини залежно від жорсткості її опор: а) при  $c_y=500000$  н/м; б) при  $c_x=500000$  н/м.

Амплітуду вимушених коливань у напрямку осей x/y можна знайти за формулою:

$$A_{x/y} = \frac{m_d \cdot \dot{\psi}_{ном}^2 \cdot \varepsilon}{M \left[ \frac{2c_{x/y}}{M} - \dot{\psi}_{ном}^2 \right]}$$

де  $M$  - маса корпусу дробарки;

$\dot{\psi}_{ном}$  - кутова швидкість ротора;

$c_{x/y}$  - жорсткість пружних опор відносно осей x/y.

4. Жорсткість  $c_x$ ,  $c_y$  пружних опор впливає на рух молотків. Амплітуду їх коливань знаходиться за формулою:

$$A_\gamma = \frac{m_M \cdot l_M \cdot m_D \cdot \varepsilon \cdot \dot{\psi}_H^2}{2[m_M \cdot l_M (l_p - 4 \cdot l_M) - 4I_M]} \times \left( \frac{1}{2c_x - \dot{\psi}_H^2 \cdot M} + \frac{1}{2c_y - \dot{\psi}_H^2 \cdot M} \right)$$

$$A_s = \frac{m_M \cdot m_d \cdot \varepsilon \cdot \psi_H^2}{2[m_M - 4M]} \times \left( \frac{1}{2c_x - \psi_H^2 \cdot M} + \frac{1}{2c_y - \psi_H^2 \cdot M} \right)$$

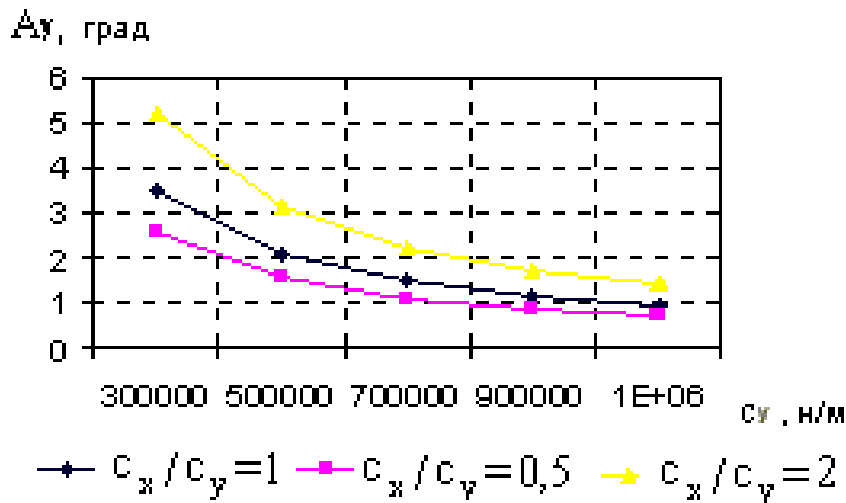


Рис.2.8. Залежність відносних переміщень молотка від пружно-інерційних характеристик машини.

### 2.3. Висновки

Результати дослідження роботи подрібнювальних машин розглянутих схем дозволяють зробити наступні висновки.

1. Збільшення потужності приводного двигуна веде до зменшення часу розгону і збільшення динамічних навантажень.

2. Застосування передатних механізмів для досягнення необхідної швидкості обертання ротора машини, тобто при використанні тихохідних двигунів, приводить до зростання часу розгону двигуна, але робить його більш плавним.

3. Зменшення жорсткості пружної муфти приводить до збільшення коливань відносної кутової швидкості між роторами двигуна та машини і зменшення динамічних навантажень.

4. Для уникнення миттєвого динамічного навантаження на приводний двигун, шибер бункера дробарки необхідно відкривати плавно, на протязі 3-5 с.

5. Не залежно від схеми машини властивості подрібнювального матеріалу (зерна), ступінь подрібнення і його вологість однаково впливають на роботу дробарки.

### РОЗДІЛ 3.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

### 3.1. Методика вдосконалення досліджуваних об'єктів

На підставі аналізу різного типу дробарок, їх недоліків та переваг визначається об'єкт вдосконалення. Визначення основних параметрів дробарок відбувалось завдяки математичного моделювання на підставі теорії імовірності в інженерних дослідженнях, що уможливило скоротити різного роду витрати. Залишається лише вирішення задачі – яким чином вірогідно і вірно перенести дані математичного моделювання на дослідні взірці.

Під час проектування подрібнювачів визначальним фактором є продуктивність та гранулометричного складу продукту подрібнення. Тому визначальним з параметрів обладнання приймають ці показники.

Рівномірність гранулометричного складу можна з виразу

$$p(a < y < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-0,5t^2} dt. \quad (3.1)$$

У цій формулі  $y$  є випадковою величиною, пов'язаною з  $x$  наступним співвідношенням

$$y = \frac{x - m_x}{\sigma}, \quad (3.2)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення  $x$ ;

$m_x$  – математичне очікування випадкової величини  $x$ ;

$$m_x = n \cdot p, \quad (3.3)$$

тут  $n$  – загальна кількість вимірів;

$p$  - ймовірність з'явлення події  $x$ .

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  можна визначити за виразом

$$\sigma = \sqrt{npq}, \quad (3.4)$$

де  $q = 1 - p$  – ймовірність протилежної події  $x$ .

Тоді вираз (3.1) набуває вигляду

$$p\left(a < \frac{x - np}{\sqrt{npq}} < b\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-0,5t^2} dt. \quad (3.5)$$

### 3.2. Методика проведення і похибки під час експериментальних досліджень

Параметри і режими роботи експериментальної дробарки завдяки методиці оптимального планування експерименту. За критерій оптимізації вибрано максимальну продуктивність з мінімальними енергозатратами.

Під час проведення експериментів було використано центральне композиційне ортогональне планування іншого порядку. Це уможливило досліджувану поверхню відгуку апроксимувати поліномом іншого ступеня

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.6)$$

де  $y$  - вибіркова оцінка;

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  - коефіцієнти регресії;

$x_1, x_2, \dots, x_k$  - незалежні змінні (чинники).

Фактори беруться на двох рівнях варіювання і умовно позначаються: нижній рівень – 1, а верхній +1.

Перед експериментом чинники кодуються:

$$x_{код} = \frac{x_n - x_o}{\varepsilon}, \quad (3.7)$$

де  $x_{код}$  - його кодоване значення;

$x_n$  - натуральне його значення;

$x_o$  - натуральне значення на основному рівні;

$\varepsilon = (x_n^e - x_n^h)/2$  - натуральне значення інтервалу варіювання;

$x_n^e$  - натуральне значення на верхньому рівні;

$x_n^h$  - натуральне значення на нижньому рівні.

Повний факторний експеримент здійснюється при його числі  $k \leq 5$ .

Для оцінки дисперсії, що характеризує помилки досвідів у матриці плану повторювалися три рази, а дисперсія відтворюваності визначалася по формулі



$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{f_2}; \quad (3.8)$$

де  $y_{iu}$  - значення критерію оптимізації;

$\bar{y}$  - середнє значення критерію оптимізації;

$f_2 = m - 1$  - число ступенів вільності;

$m$  - кількість дослідів.

Визначення коефіцієнтів регресії

$$b_0 = p_1 \cdot \sum y_u - (p_1/p_3) \cdot \sum_{i=1}^k b_{ii}; \quad (3.9)$$

$$b_i = p_3 \cdot \sum x_{iu} \cdot y_u; \quad (3.10)$$

$$b_{ii} = p_5 \cdot \sum x_{iiu} \cdot y_u; \quad (3.11)$$

$$b_{ij} = p_7 \cdot \sum x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u; \quad (3.12)$$

де  $p_1, p_3, p_5, p_7$  - коефіцієнти пропорційності;

$i = 1, 2, \dots, k$  - номер стовпця матриці експерименту ;

$i = 1, 2, \dots, N$  - номер дослідів.

Статистичний аналіз на адекватність результатів проводиться після запису регресійного рівняння. Коефіцієнтів регресії знаходиться по t-критерії Стьюдента

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{b_i}, \quad (3.13)$$

де  $S_{b_i}$  - квадратична похибка;

$t$  - значення t-критерію залежно від ступеня вільності.

Значення коефіцієнтів  $p_i \cdot 10^5$  ортогонального плану

Таблиця 3.1

Кількість факторів	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$
Три	6667	9141	23041	12500	25820	30234	48001	35355
П'ять	3704	4811	7220	6250	19245	21934	26870	25000

Дисперсії коефіцієнтів регресії:

$$S_{\{b_0\}}^2 = (p_2 \cdot S_y)^2 + (p_1/p_3)^2 \cdot k \cdot S_{\{b_{ii}\}}^2; \quad (3.14)$$

$$S_{\{b_i\}} = p_4 \cdot S_y; \quad (3.15)$$

$$S_{\{b_{ii}\}} = p_6 \cdot S_y; \quad (3.16)$$

$$S_{\{b_{ij}\}} = p_8 \cdot S_y; \quad (3.17)$$

де  $p_2, p_4, p_6, p_8$  коефіцієнти пропорційності.

Після вилучення з рівняння регресії не відповідних коефіцієнтів, проводять перевірку гіпотези на адекватність завдяки F-критерію Фишера:

$$F_{расч} = S_{ад}^2 / S_y^2 \quad (3.18)$$

де  $S_{ад}^2 = m \cdot \sum_{i=1}^N (y - y_i)^2 / f_1$  - дисперсія неадекватності моделі;

$f_1 = N - (k + 1)$  - кількість ступенів вільності;

$N$  - кількість дослідів;

$k$  - кількість факторів.

Як вище зазначалось на результат експерименту впливають властивості подрібнювальних матеріалів, параметри робочої камери та ротору, конструктивні особливості завантажувально-вивантажувального пристрою, тобто

$$v = f(D, n, K_{np}, D_k). \quad (3.19)$$

У даному випадку, за показник точності експерименту використовувався коефіцієнт варіації  $v$ , як середня відносна похибка:

$$v = \frac{100}{q_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (q_i - q_{cp})^2}{m - 1}}, \quad (3.20)$$

де  $m$  - кількість проб;

$q_i$  і  $q_{cp}$  - величини проб (текуча і середня), кг;

Цей коефіцієнт залежить величини проби певної маси або їх кількості за деякий проміжок часу. Результати експериментів оброблялися з використанням електронних таблиць методами варіаційної статистики і теорії ймовірностей

Взаємозв'язок параметрів експериментальних даних проводився на підставі методів теорії кореляції. Об'єм вибірки знаходився з виразу

$$N = \frac{\sigma_x \cdot t^2}{f} \quad (3.21)$$

де  $\sigma_x$  - середнє квадратичне вiдхилення величини;

$t$  - критерiй Ст'юдента;

$f = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$  середня квадратическая помилка;

$n$  - кiлькiсть вимiрiв.

Значення  $\sigma_x$  й  $f$  знаходять за даними попереднього експерименту:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; \quad (3.22)$$

де  $D_x$  - дисперсия.

Для забезпечення 95% надiйностi вимiру критерiй Ст'юдента  $t = 2,0$ .

### **3.3. Мета експерименту, конструкцiя i параметри експериментальної дробарки**

Чисельнi експерименти показали, що математична модель роботи молоткової дробарки коректно побудована, а програми побудованi на її пiдставi є логiчно правильнi i "чистi". Проте робота подрiбноувальних машин з використанням вiбрацiйних ефектiв ще цiлком недослiджена. Тому метою фiзичних експериментiв, як один з варiантiв перевiрки цiєї моделi, було одержання кiлькiсних показникiв роботи молоткової дробарки на пружнiй основi. Визначення розподiлу продуктiв подрiбнення за фракцiями та вплив параметрiв дебалансного збурювача коливань на потужнiсть приводного двигуна

Для цього слiд було вирiшити наступнi задачi:

- залежно вiд зовнiшнього збуджуючого зусилля (параметрiв дебалансного вiброприводу) i пружних параметрiв опор визначити енергетичнi параметри подрiбнення;
- визначити оптимальнi амплiтуд i частоти коливань корпусу дробарки.

Вирішення цих задач проводилось на експериментальному обладнанні показано на рис.3.1, яке включає вимірювальні прилади і дослідну молоткову дробарку.

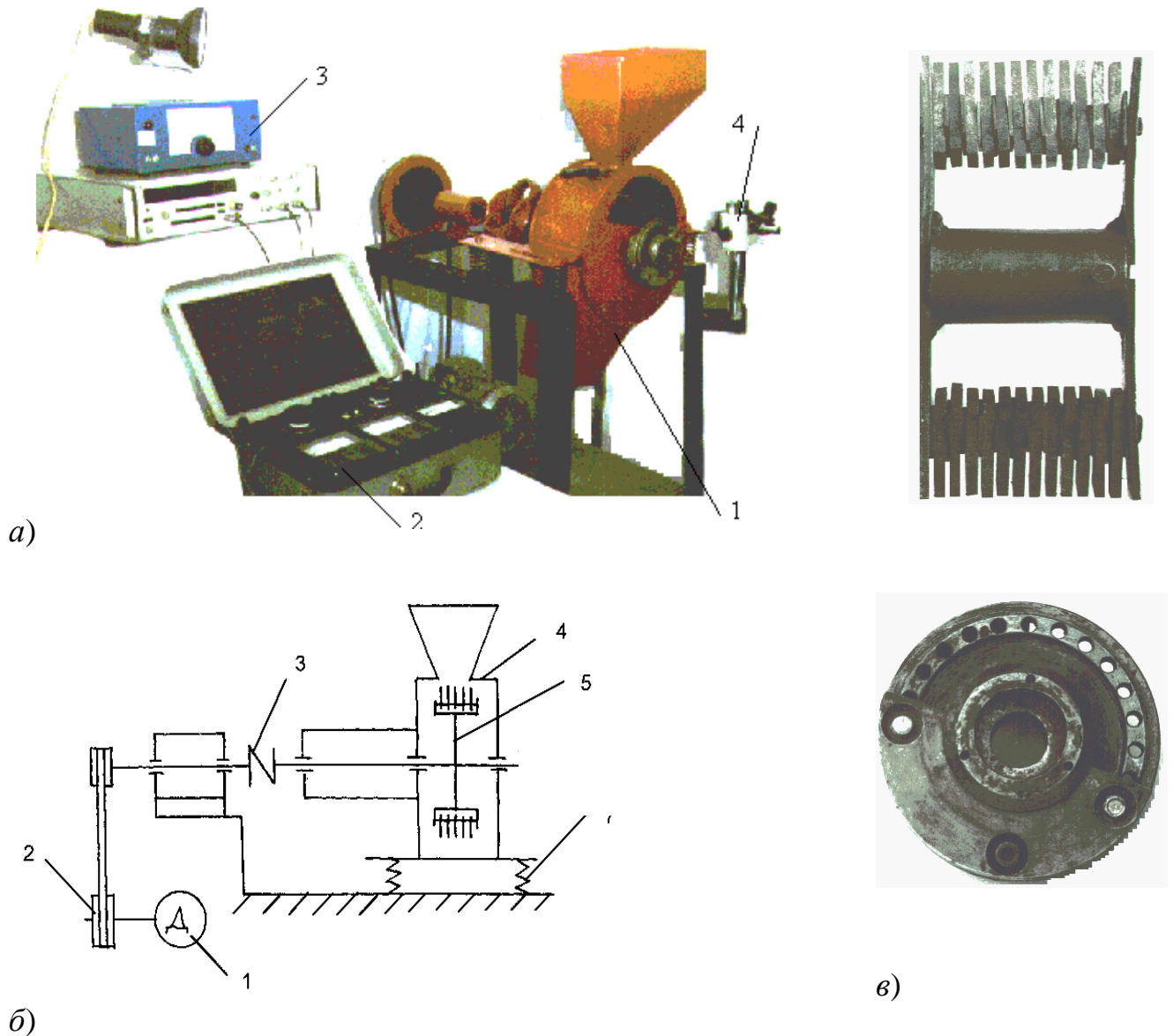


Рис.3.1. Експериментальне обладнання

*а*–загальний вигляд: 1- дробарка; 2- вимірювальний комплекс К-50; 3- тахометр 2ТС<sub>Т</sub>32-456; 4- мікроскоп;

*б*– принципова схема: 1 - двигун, 2 – клинопасова передача, 3 – муфта, 4 – корпус; 5 – ротор; 6 – опора пружна.

*в*– основні вузли: ротор з молотками та дебалансний віброзбудник.

Для візуального спостереження за робочим процесом з торця подрібнювальної камери передбачене оглядове вікно. Частота обертання

роторного вала змінювалась механічним способом, завдяки конструктивним параметрам пасової передачі, а спостереження рухом продуктово-повітряного шару проводилось у стробоскопічному світлі. Оскільки пристрій встановлений на пружних віброуючих опорах, завантажений у бункер подрібнювальний матеріал через випускний отвір, що регулюється шибером рівномірно подається у робочу камеру.

Під час проведення експериментів використовувалися таке обладнання і матеріал: дробарка, решітчастий класифікатор; вимірювальний комплекс К-50; стробоскопічний тахометр 2ТС<sub>Т</sub>32-456; технічна вага; секундомір; мікроскоп МПВ-1У4.2; зерно - ячмінь.

### Основні характеристики вузлів експериментального обладнання

Таблиця.3.1

Назва	Характеристика	Позначення	Розмірність	Величина
Подрібнювальна камера	Габарити	D	м	0,3
		L	м	0,12
	Об'єм	V	м <sup>3</sup>	0,008
Бункер	Об'єм	V	м <sup>3</sup>	0,008
Пасова передача	Передаточне число	i	-	0,4÷2,1
Електродвигун АОЭ2	Потужність	P	кВт	3,0 кВт
	Частота обертання	n	об/хв	2740

Принципова схема підключення комплексу К-50 показана на рис.3.2.

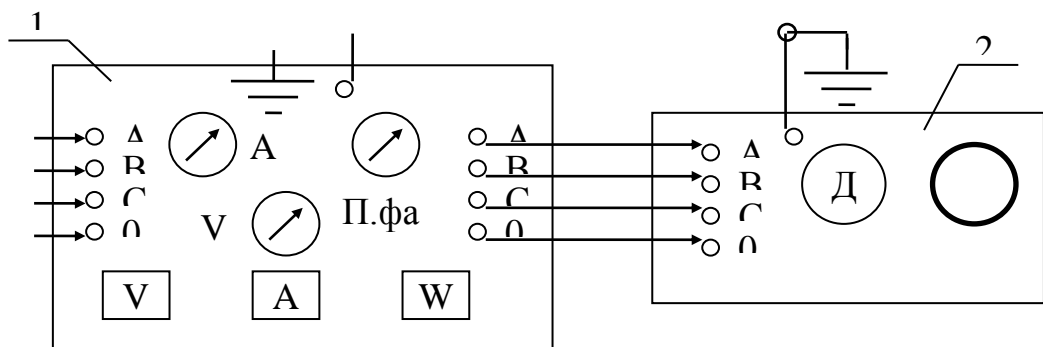


Рис 3.2. Схема підключення вимірювального комплексу К-50: 1- прилад; 2- дробарка; А- перемикач струму; V- перемикач напруги; П.фаз - перемикач фаз.

### 3.4. Послідовність проведення експериментів

Під час проведення експериментів і одержання результатів з достатньою точністю результатів користуються гіпотезою нормального закону розподілу одержаних вимірів.

Змінні величини:

$\varepsilon$  – відстань від осі ротора до центру мас;

$c_x, c_y$  – жорсткість пружних опор дробарки.

Наступним кроком досліджень є визначення обсягу експериментів. Число точок на графіках (кількості різних експериментів) прийнято рівним 5, а між ними проміжків - 4.

Далі визначалась кількість необхідних повторень досліджу:

$$n_{нов} = m \left( \frac{w_m \cdot k_w}{\Delta y} \right)^2, \quad (3.23)$$

де  $m$  - кількість попередніх випробувань;

$w_m$  - діапазон зміни параметрів;

$k_w$  - коефіцієнт довірчої ймовірності;

$\Delta y$  - ширина довірчого інтервалу, з урахуванням похибки пристрою.

Таблиця.3.3

Похибки вимірювальної апаратури

Прилади	Точність вим.
Комплекс К-50	10 Вт/діл
Тахометр 2ЕС <sub>Т</sub> 32-456	10 об/хв/діл
Мікроскоп МПВ-1У4.2	0,001 мм

Число повторень досліджу дорівнює 7.

Останній етап планування експериментів це визначення часу на проведення експерименту,  $t_n=10$  хв. Тоді

$$t = n t_n = 7 \cdot 10 = 70 \text{ хв}$$

Число експериментів

$$N_p = \frac{t_{міс}}{t} = \frac{9840}{70} = 140,$$

де  $t_{міс}$  – середнє значення хвилин в місяці.

Число експериментів прийнято  $N_p=140$ .

Дані знімались у такий спосіб. Енергетичні показники робочого процесу знімались під час роботи експериментальної дробарки. Зерно масою  $m \geq 0,5\text{кг}$ , завантажувалось в його бункер. Секундоміром встановлювався час роботи обладнання ( в межах  $0,3 \div 6$  хв.). При цьому знімалися дані комплексу К-50.

Знаючи параметри дробарки, вологість матеріалу (ячменю) і ступінь подрібнення, завдяки математичної моделі знаходились енергетичні показники. Середня потужність двигуна під час подрібнення матеріалу:

$$N_{\text{сер}} = \frac{\sum c_{\text{муф}} (\beta_i - \psi_i) \dot{\beta}_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i} . \quad (3.24)$$

У цій формулі  $\beta_i, \psi_i, \dot{\beta}_i$  це значення на  $i$ -тому кроці інтегрування, а  $\Delta t_i$  - величина його у. Приклад одного експерименту представлений в таблиці 3.4.

Приклад усереднених результатів експериментів

Таблиця 3.4

Тривалість досл., с	Фаза	Дані експерименту						Розрахункові дані
		$V_{\phi}, \text{В}$		$I, \text{А}$		$N, \text{Вт}$		$N_{\text{роз}} =$ $N_p - N_{\text{хх}}$
		х.х.	роб.	х.х.	роб.	х.х.	роб.	
30	А	220	230	1,5	2,6	330	598	268
	В	224	234	1,6	2,7	358	632	274
	С	226	229	1,5	2,6	343	588	245
	$\Sigma$					1031	1818	787

2. Для знаходження амплітуди коливань корпусу використовували мікроскоп МПВ-1У4.2 та тахометр 2ЕС<sub>т</sub>32-456. Для цього, рух закріпленої голки на корпусі дробарки спостерігався у стробоскопічному світлі в режимі наближеному частоті коливань обладнання.

За допомогою мікроскопа фіксувався розмах коливань, а отже і амплітуда коливань. На графіках рис.3.3, 3.4 наведені результати експериментів

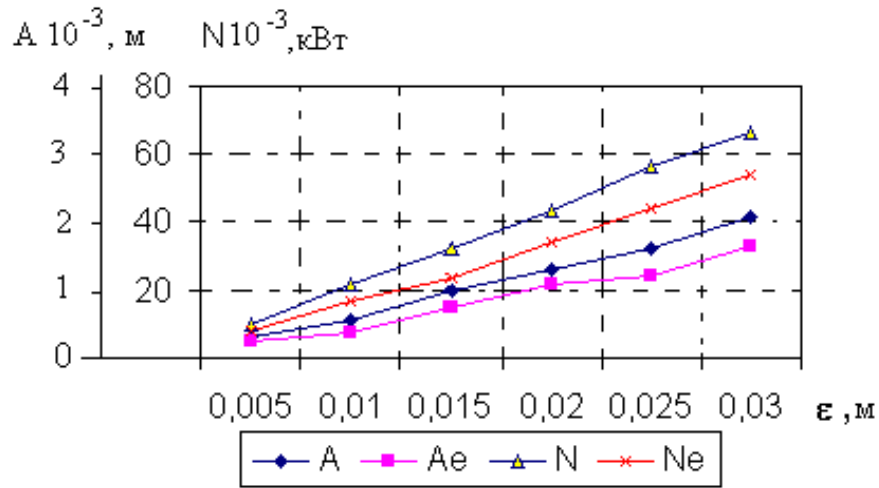


Рис.3.3. Залежність амплітуди коливання  $A$  і середньої потужності двигуна  $N_{cp}$  від інерційного параметру відрозбудника  $\epsilon$

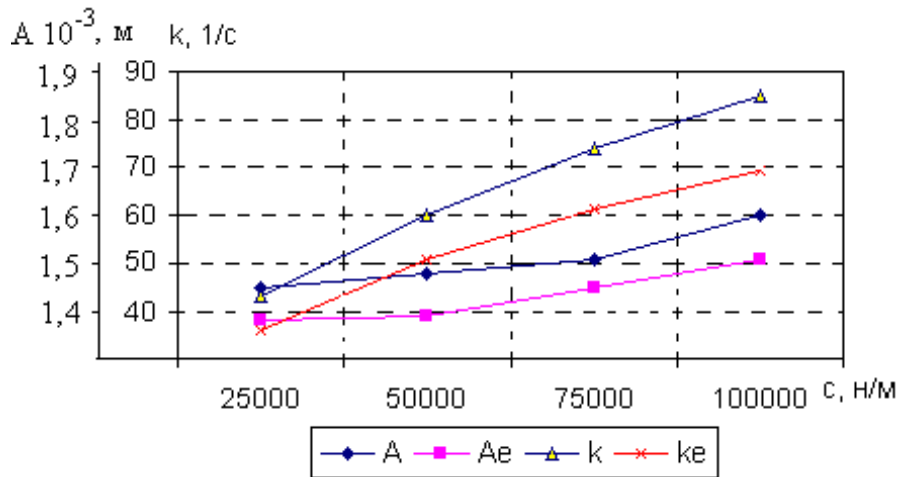


Рис.3.4. Залежність амплітуди  $A$  і частоти коливань  $k$  корпусу дробарки від жорсткості пружних опор  $c$

Аналіз результатів показав збіг даних одержаних під час чисельного і фізичного експерименті.

### 3.5. Аналіз результатів експериментів

Методами математичної статистики проводилась обробка експериментів, завдяки яких оцінювалась їх точність. За формулами визначались:

середнє вибіркоче значення

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 y_i \quad (3.25)$$

середньо квадратична похибка



$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (3.26)$$

ширина довірчого інтервалу при довірливій ймовірності  $\alpha=0,9$

$$\Delta y = \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot k_1, \quad (3.27)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт Стьюдента.

Використовуючи аналітичні залежності, проводились порівняння енергетичних параметрів при різних значеннях генеруючих збуджуючих зусиль із результатами фізичного експерименту. Їх результати є близькими.

Оскільки у запропонованій схемі молоткової дробарки має місце віброзбудювач коливань, розглянуто його вплив на потужність приводного електродвигуна. Для дійсних значень параметрів дебалансного вібратора (маса і момент інерції) встановлено, що додаткові витрати потужності становлять в межах 2-3 % при відношенні  $I_d/I_p$  рівним 0,2 (рис. 3.5, 3.6).

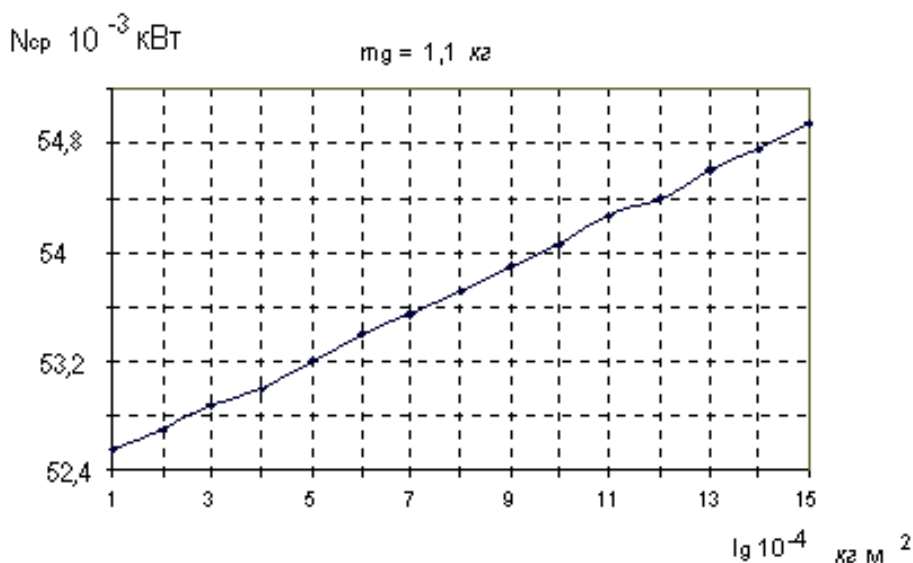


Рис.3.5. Залежність потужності двигуна від моментів інерції дебалансів

Дослідження показують, що найбільший вплив віброзбудювача на кінематику роторів дробарки і двигуна становить під час розгону пристрою. Відносну швидкість  $|\dot{\beta} - \dot{\psi}|$  їх можна знайти з умови:

$$\omega_{\text{дв.ном}} \cdot \sqrt{\frac{I_B^{\text{сум}} \cdot I_{\text{дв}}}{(I_B^{\text{сум}} + I_{\text{дв}}) \cdot c_{\text{муф}}}} \approx 1, \quad (3.28)$$

де  $\omega_{\text{дв.ном.}}$  - номінальна швидкість ротора приводного двигуна.

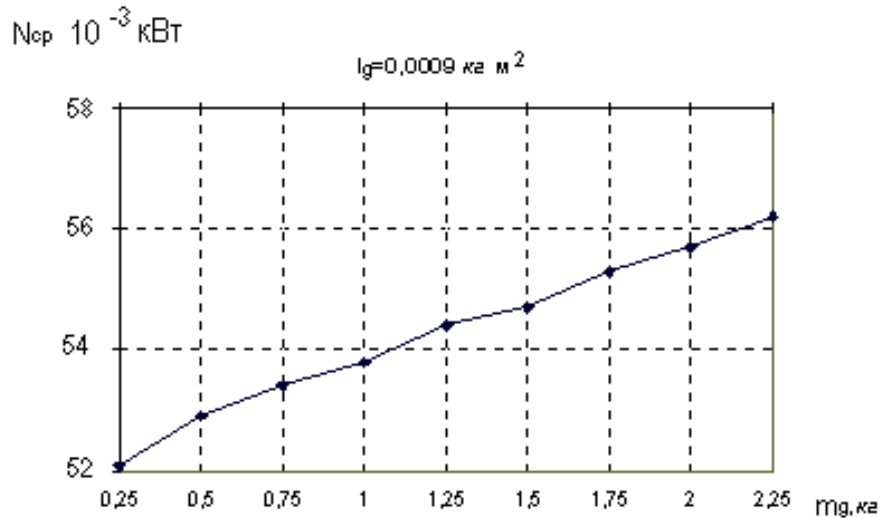


Рис. 3.6. Залежність потужності двигуна від маси дебалансів

Тоді її значення визначається за формулою:

$$|\dot{\beta} - \dot{\psi}|_{\text{max}} \approx \frac{M_{\text{дв}}}{\sqrt{(I_{\text{в}}^{\text{сум}} + I_{\text{дв}}) \cdot c_{\text{муф}}}} \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{в}}^{\text{сум}}}{I_{\text{дв}}}}, \quad (3.29)$$

а зростання потужності орієнтовно можна знайти з виразу:

$$N_{\text{д}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_{\text{д}} \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{дв.ном.}}^3 \cdot f_{\text{під.}} \cdot d_{\text{підр.}}$$

### 3.6. Порівняльна характеристика якості подрібненої продукції з вібрацією корпусу обладнання

Оскільки наступною важливою характеристикою функціонування подрібнювача є гранулометричний склад подрібненого матеріалу, було проаналізовано результати експериментів щодо впливу вібрації його корпусу на цей показник. За подрібнювальний матеріал було взято ячмінь з вологістю 14%. Графічні результати наступної серії дослідів показані на рис. 3.7, 3.8.

Під час проведення експериментів спочатку корпус дробарки закріплювався до рами жорстко, а потім пружно. Залежно від кріплення його були одержані і результати гранулометричного складу подрібненого матеріалу.

Відповідно до методики встановлення показників фракційного складу продуктів подрібнення, проводили аналіз наважок (проб). За результатами їх просіювання на класифікаторі із ситами 5, 3, 2, 1 та 0,2 мм і проб масою 100 г

де контрольним було верхнє значення, середньозважений розмір частинок  $M$  визначався із залежності:

$$M = \frac{0,1P_0 + 0,6P_{0,2} + 1,5P_1 + 2,5P_2 + 3,5P_3}{100},$$

де  $P_0, P_{0,2}, P_1, P_2, P_3$  – маса фракцій на відповідних решетах класифікатора;

0,1;0,6;1,5;2,5;3,55 – середній розмір в мм частинок фракцій.

За результатами проведених експериментів та їх аналізу (рис. 3.7) видно, що під час вібрації корпусу частка переподрібнення зменшилось до 50%, а модуль подрібнення – до 1,1%. У цьому випадку гранулометричний склад подрібненого матеріалу поліпшився на 10%.

Далі, визначалась кількість оптимальних фракцій продукту під дією вібрації корпусу. При цьому, за вибраний проміжок часу і кількості проб, визначався цей показник під час роботи обладнання як з використанням вібрації, так і без неї.

Як правило, до оптимальних фракцій відноситься матеріал, який залишався на ситах класифікатора з отворами 0,2, 1, 2, 3 мм. На підставі обробки За результатами проведених експериментів побудовано діаграму (рис.3.8), яка показує, що вібрація корпусу покращує гранулометричний склад подрібненого матеріалу до 10%, що відповідає, наприклад, зоотехнічним вимогам під час годівлі тварин, за умов незначного підвищення продуктивності обладнання (до 3%).

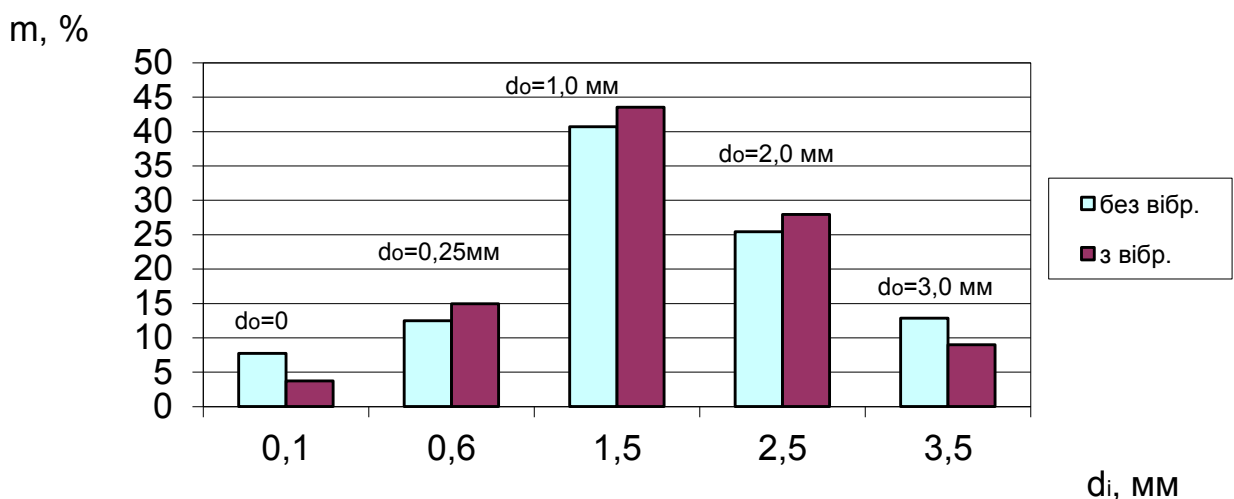


Рис.3.7. Розподіл за фракціями продуктів подрібнення.

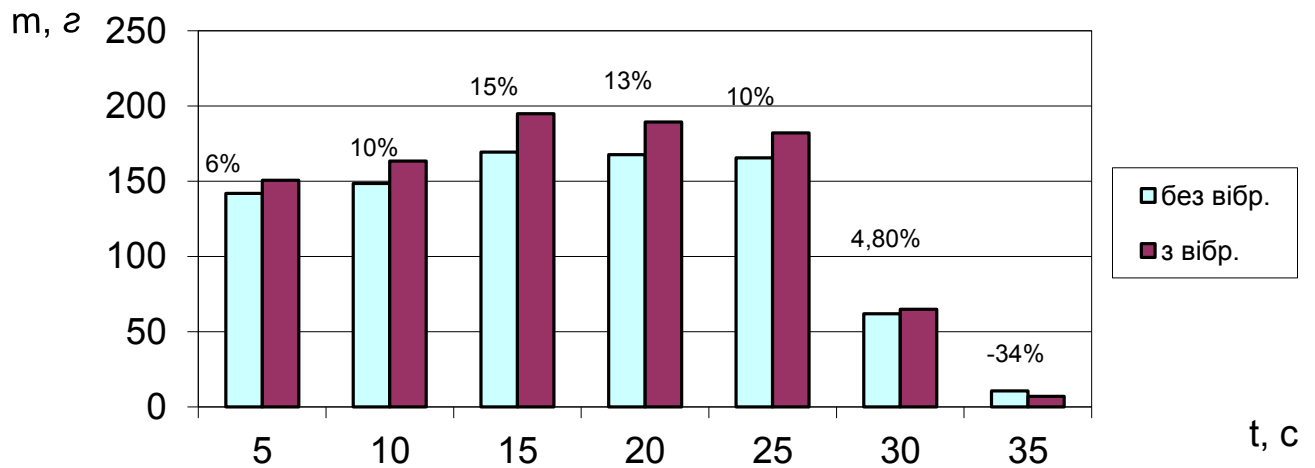


Рис.3.8. Порційний розподіл сумарної маси подрібнення.

Графічні результати наочно показують, що перебування робочого обладнання у вібраційному полі значно покращує показники робочого процесу подрібнення, зокрема якість продукції.

### 3.7. Висновки

На підставі результатів дослідження роботи запропонованої схеми молоткової дробарки можна зробити наступні висновки.

1. Підвищення потужності двигуна дробарки призводить до зменшення періоду розгону і зростання динамічних навантажень.
2. Використання у конструкції подрібнювальної машини дебалансного віброзбурювача коливань, в залежності від параметрів його, приводить до незначних витрат потужності приводного двигуна (біля 2-3%).
3. Для поступового динамічного навантаження двигуна, необхідно шибер бункера відкривати поступово протягом 3-5 с.
4. Дослідження показують, що характер руху пружно закріпленого корпусу дробарки практично не змінюється у всіх режимах його роботи.
5. Характерною особливістю кріплення корпусу (пружне, жорстке) є збільшення амплітуд коливань молотків. У порівнянні з іншими найефективнішою є молоткова дробарка з пружно закріпленим корпусом.
6. Робота дробарки у вібраційному полі сприяє підвищенню якості подрібнення.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ**

### **4.1 Аналіз виробничих небезпек під час подрібнення сипких матеріалів**

У процесі трудової діяльності людини за допомогою певних знарядь діє на предмет праці в умовах існуючого середовища. Залежно від характеру праці на людину можуть впливати різні середовища: механічні, хімічні, теплові, електричні, біологічні. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише, якщо вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке при досягненні певного ступеня кваліфікується як нещасний випадок, травма. Безпосереднім джерелом таких пошкоджень може бути будь-який з компонентів праці.

Пошкодження організму можуть виникати внаслідок: як безпосередньо контактних дій, так і дистанційних, одразу після дії або через певний проміжок часу.

Серед різних факторів виробництва, які можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі й небезпечні виробничі фактори.

Будь-який шкідливий або небезпечний виробничий фактор може діяти на людину лише у певних умовах. Це поняття має надзвичайно важливе значення при вивченні й дослідженні механізмів дії таких факторів на людину та їх наслідків.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори, 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 безпека – це загроза дії на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих

факторів, а виробнича шкідливість – дія на працюючого лише шкідливих виробничих факторів.

Під час встановлення 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 або 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).

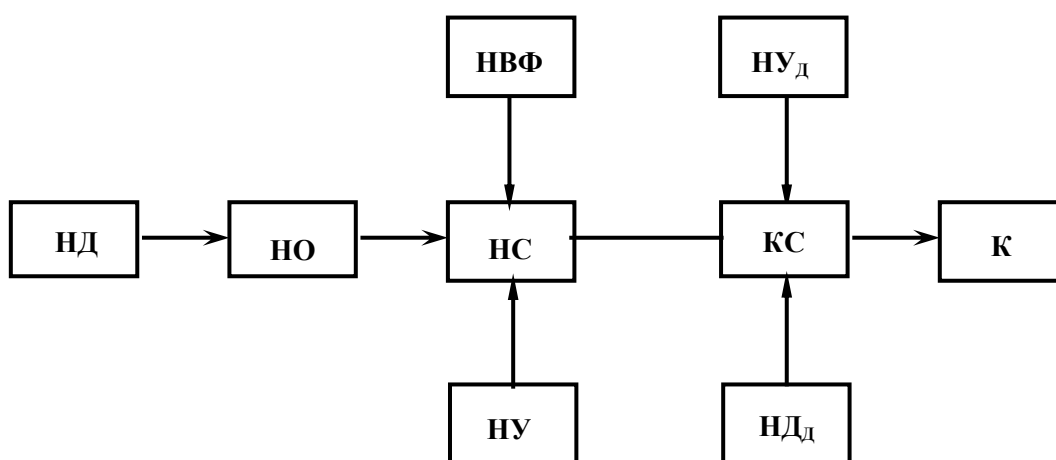


Рис. 4.1. Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій:

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.

#### 4.2 Моделювання процесу виникнення травм та аварій

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 “деревя 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 (рис. 4.2) застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій.

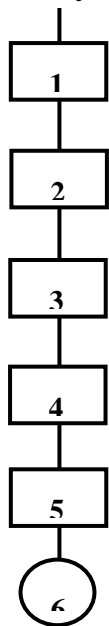


Рис. 4.2. Схема побудови логіко-імітаційних моделей:  
1- головна подія; 2-5- проміжні події;  
6- базова подія.



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.

#### **4.3 Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час подрібнення сипких матеріалів**

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 або 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 хлібобулочних виробів складемо список базових подій. Вони лежатимуть у основі даної моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Нижче подано сам список:

Стан контролю з охорони праці  $P_1 = 0,2$ ;

Несерйозне відношення до проходження ТО  $P_2 = 0,1$ ;

Відсутність комплектуючих  $P_3 = 0,2$ ;

Невисока міцність  $P_4 = 0,03$ ;

Застаріле обладнання  $P_6 = 0,02$ ;

Попадання предметів з навколишнього середовища  $P_7 = 0,4$ ;

Досвід роботи  $P_{12} = 0,35$ .

Професійний рівень робітника  $P_{13} = 0,5$ ;

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. 5.2.

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

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  $P_{20}$ :

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

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

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.

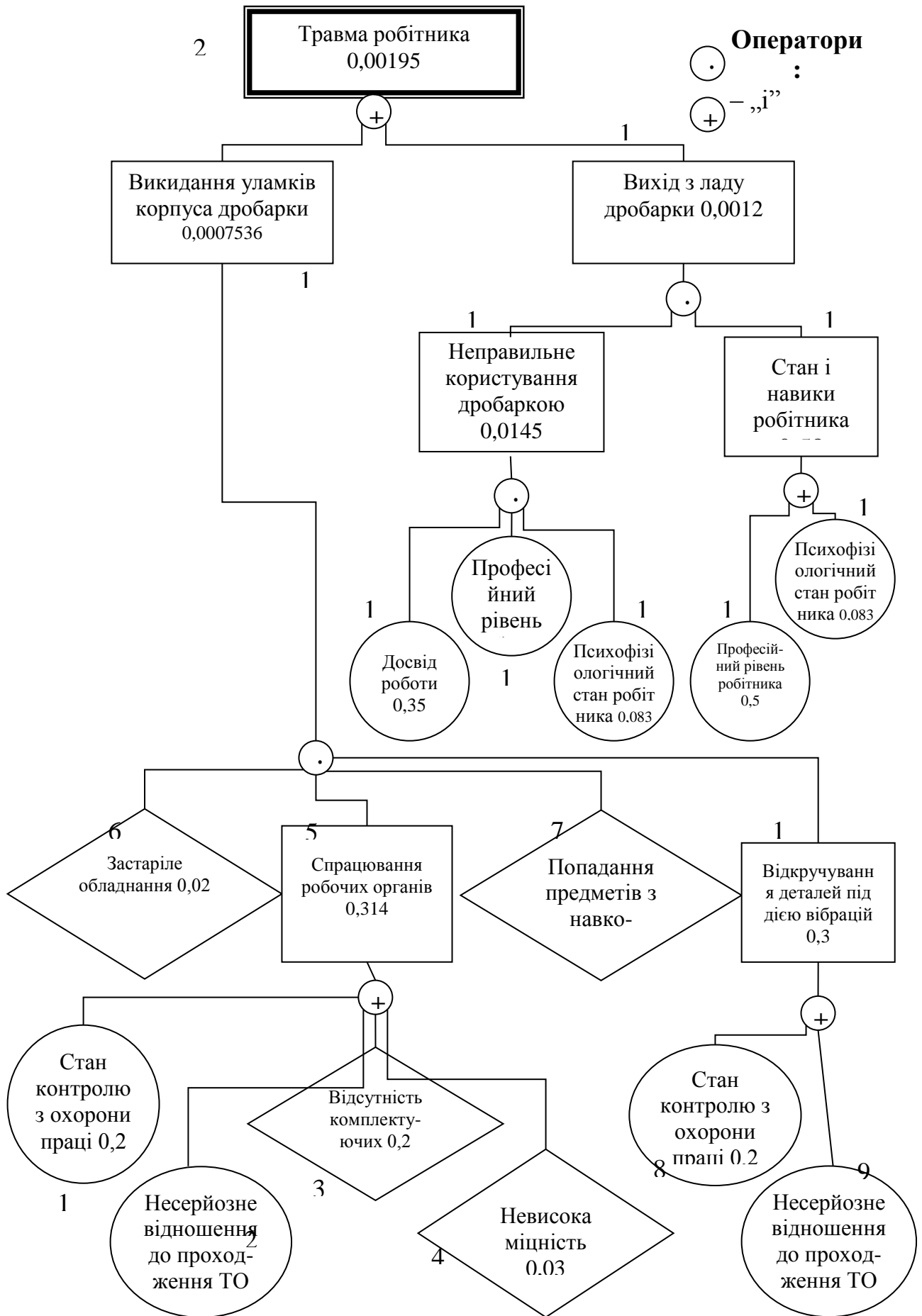


Рис. 4.3. Логіко-імітаційна модель процесудробарки формування та виникнення аварії та травми під час подрібнення сипких матеріалів.

#### 4.4. Розрахунок штучного освітлення

Знаючи площу цеху  $52 \text{ м}^2$  і підібравши стандартні вікна з площею вікна  $4,18 \text{ м}^2$  розраховуємо освітлення.

Оскільки стандартна плита перекриття є довжиною  $6 \text{ м}$ , то довжина приміщення буде визначатися виходячи з тих міркувань, що в середині приміщення має ширину  $5 \text{ м}$  (з врахуванням стін. Тоді довжина приміщення буде:

$$b = S/d = 52/5 = 10,4 \text{ м}, \quad (5.1)$$

Приймаємо, що в приміщенні є  $2$  вікна.

Тоді світловий коефіцієнт буде визначатися за формулою:

$$\alpha = \Sigma F_v / F_n, \quad (5.2)$$

де  $\Sigma F_v$  – сумарна площа вікон;

$F_n$  – площа підлоги в приміщенні,  $\text{м}^2$ .

$$\alpha = 4,18 \cdot 2 / 52 = 0,155.$$

Проведемо перевірочний розрахунок кількості вікон:

$$N_v = F_n \alpha / F_v = 52 \cdot 0,155 / 4,18 = 2 \text{ шт}, \quad (5.3)$$

Використовуючи метод питомої потужності визначаємо загальну потужність і необхідну кількість світильників за формулою:

$$P_{\text{заг}} = \omega F_n, \quad (5.4)$$

де  $\omega$  – питома потужність,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $\omega = 10 \dots 12 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

$$P_{\text{заг}} = 10 \cdot 52 = 520 \text{ Вт}.$$

Кількість світильників визначається за формулою:

$$n_z = P_{\text{заг}} / P_{\text{св}}, \quad (5.5)$$

де  $P_{\text{св}}$  – потужність прийнятого світильника,  $\text{Вт}$  ( $P_{\text{св}} = 60 \text{ Вт}$ ). Тоді,

$$n_z = 520 / 60 = 9 \text{ шт}.$$

Приймаємо  $10$  світильників по  $60 \text{ Вт}$ .

#### 4.5. Розрахунок вентиляції

Проведемо розрахунок повітрообміну. Величина витрати повітря в приміщенні визначається за формулою:

$$W = n_p W_o, \quad (5.6)$$

де  $n_p$  – кількість робітників, чол ( $n_p=7$ );

$W_o$  – нормована величина витрати повітря на одного працюючого, м<sup>3</sup>/год  
( $W_o = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ ).

$$W = 7 \cdot 20 = 140 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначаємо перепад тиску  $H_m$ , який забезпечить рух повітря за формулою:

$$H_m = 9,8h(\rho_{zn} - \rho_{вн}), \quad (5.7)$$

де  $h$  – висота труби, м ( $h=4 \text{ м}$ );

$\rho_{zn}$  – густина повітря зовні приміщення, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{zn}=1,256 \text{ кг/м}^3$ );

$\rho_{вн}$  – густина в середині приміщення, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{вн}=1,23 \text{ кг/м}^3$ ).

Підставивши відомі величини в формулу отримуємо:

$$H_m = 9,8 \cdot 4(1,256 - 1,23) = 1,02 \text{ Па}$$

Розрахунок швидкості повітряного потоку в аераційному каналі визначається за формулою:

$$V = 1,42\psi_c \sqrt{\frac{H_m}{\rho_{zn}}}, \quad (5.8)$$

де  $\psi_c$  – коефіцієнт, що враховує опір повітря в аераційному каналі ( $\psi_c=0,5$ ).

Тоді, підставивши відомі величини у формулу отримаємо:

$$V = 1,42 \times 0,5 \sqrt{\frac{1,02}{1,256}} = 0,64 \text{ м/с}.$$

Сумарну площу витяжних каналів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{вк}} = \frac{W}{3600V}, \quad (5.9)$$

де  $W$  – величина повітряного потоку, м<sup>3</sup>/год.

$$S_{\text{вк}} = \frac{140}{3600 \times 0,64} = 0,06 \text{ м}^2.$$

Число вентиляційних пристроїв:

$$n_g = S_{\text{вк}}/f_o, \quad (5.10)$$

де  $f_o$  – площа поперечного перерізу витяжного каналу, м<sup>2</sup> ( $f_o = 0,04 \text{ м}^2$ ).

$$n_g = 0,06/0,04 = 1,4 \approx 1.$$

Згідно розрахунків в нашому приміщенні буде один вентиляційний канал. Згідно стандарту найближчі його розміри становлять 20\*20 см.

#### **4.6 Розробка заходів щодо захисту 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, санітарне - гігієнічних та інших заходів в сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій природного характеру, які можуть виникнути належить: пожежа, ураган, смерч, землетрус, великі опади дощів. Тому, з метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій необхідно провести наступні заходи:

- оповіщення населення про можливу надзвичайну ситуацію;
- спостереження і контроль за довкіллям , продуктами харчування і водою;
- створення захисних споруд та укриття в них усього населення, тобто працююча зміна, а також населення, яке проживає в небезпечній зоні;
- проведення медичного захисту для зменшення ступеня ураження людей, своєчасне надання допомоги та лікування.

#### **4.7. Охорона довкілля**

Господарська діяльність людини зумовила пошкодження і вичерпування природних ресурсів, що призводить до деформації сформованих протягом багатьох мільйонів природного кругообігу рослин та енергетичних потоків на планеті. Внаслідок цього почалося прогресуюче руйнування біосфери, Землі що може набути характеру незворотних процесів і навколишнє середовище, може стати непридатним для існування.

Загалом, велику роль у глобальній екосистемі стали відігравати відносини суспільства і природи. Особливо швидко поширюється вплив суспільства на природу у зв'язку з розвитком машинного виробництва. Завойовуючи природу людство значною мірою підірвало природні умови власної життєдіяльності.



Серед соціальних та екологічних тенденцій, що формують наше майбутнє, є стрімке зростання чисельності населення, укорінення хибних моделей споживання, скорочення посівних площ на душу населення, надмірне викачування підземних вод, поширення стійких органічних забруднювачів у ґрунтах, водах, повітрі. Внаслідок цього людство постало перед загрозою виснаження природних ресурсів, проблемами виробництва продовольства та незадовільного харчування, глобальних кліматичних змін, поширення нових хвороб, загибелі місцевих екосистем.

Одним з найскладніших видів виробництва продукції, необхідної для людини, є сільське господарство. Його розвиток і кінцеві результати визначаються якістю і станом основних компонентів біосфери – ґрунту, води, повітря, знанням закономірностей оновлення природних ресурсів. Лише на основі дбайливого ставлення до природи можна розвивати сільське господарство не тільки сьогодні, але й завтра. Науково-технічний прогрес в агропромисловому комплексі повинен узгоджуватися із збереженням рівноваги в природі. Сучасне аграрне виробництво повинно максимально врахувати екологічні особливості землеробських регіонів, їх природних ресурсів та умов. Досягнення якісно нових рубежів у виробництві продуктів харчування можливе лише за умов подальшої інтенсифікації землеробства і тваринництва на основі впровадження в практику найсучасніших досягнень науки і техніки, ефективного й раціонального використання ресурсного потенціалу агропромислового комплексу, ліквідації втрат продукції. А тому, вирішальну роль у переорієнтації напрямків і характеру майбутнього розвитку суспільства, гармонізації взаємовідносин між людиною і природою відіграватиме сучасна молодь, зокрема, майбутні фахівці будь яких галузей виробництва.

#### **4.8. Шляхи покращення екологічного стану при експлуатації об'єкту дослідження. Висновки і пропозиції.**

При плануванні впровадження нових технологічних підходів чи організаційних заходів на об'єкті господарювання насамперед необхідно звернути увагу на використання ресурсо- та енергоощадних технологій, вирішення проблем створення екологічно чистих виробництв. Запропоноване

нововведення, крім його технічної чи технологічної доцільності, є кроком в напрямку реальної мінімізації екологічного впливу на довкілля (вода, повітря, ґрунт, безпека для життя і здоров'я людей) та появи непридатних як матеріально-речовинних так і енергетичних відходів. Має забезпечуватися, по можливості, концентрація відходів, їх повторне використання, можливі чи передбачувані технологічні шляхи видалення чи захоронення відходів. В більшості випадків такі зміни технічно здійснювані. Із зменшенням концентрації корисних матеріалів у відходах, затрати на їх вилучення із відходів різко зростають, що приводить до виникнення проблем економічного характеру. Попередження забруднення є більш привабливою альтернативою, ніж переробка відходів, і, на перспективу, проектні розробки мають передбачати власне такі перетворення. Такий підхід ставиться в основу сучасних тенденцій сталого розвитку індустріального суспільства.

Щоб запобігти замулюванню річок і водоймищ, потрібно провести низку заходів: задерніння схилів, прибережні смуги вздовж річок потрібно залишати нерозораними, а їх русла розчистити. Потрібно зробити стоки з тваринницьких ферм і комплексів щоб відходи з них стікали в гноєсховища та сечозбірники. В гноєсховищах та сечозбірниках необхідно провести дезінфекцію рідкого гною від патогенних мікроорганізмів і гельмінтів перед внесенням гною на поля. З кормоцеху стоки використаної води для миття коренебульбоплодів необхідно спрямувати у відстійник де б вода після нього використовувалася повторно. Потрібно провести скошування від центра поля до його країв, щоб дати можливість тваринам втекти зі скошеного масиву. Для того, щоб зберегти фізичні властивості ґрунтів – структуру, пористість, оптимальний водно-повітряний режим - потрібно різко скоротити повторність обробітку ґрунтів, перейти на прогресивні та ефективні його форми, легкі машини та механізми. Рациональне землекористування в сільському господарстві потребує перегляду основного обробітку ґрунту – перехід на безплужну систему. На такий спосіб обробітку витрачається менше пального, в 3-4 рази зменшується інтенсивність площинної ерозії на схилах, поліпшується капілярність ґрунту, збільшується вміст гумусу не пересихає орний шар.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

### Розрахунок техніко-економічних показників використання розробленої конструкції дробарки

Розрахунок техніко-економічних показників базується на визначенні показників: терміну окупності капіталовкладень, річного економічного ефекту, рівня рентабельності виробництва, прибутку, економії затрат праці, рівня механізації, собівартості продукції, експлуатаційних і виробничих затрат.

Одним із основних критеріїв економічної оцінки технологічного рішення є термін окупності, який визначається як відношення сумарних капітальних витрат  $K_{\text{кап}}$  (грн.) до річного прибутку  $\Pi$  (грн.):

$$T = \frac{K_{\text{кап}}}{\Pi}; \quad (5.1)$$

Наступним показником, який може характеризувати економічну ефективність виробництва заданого виду продукції є рівень рентабельності. Він характеризує прибутковість підприємства. Рентабельність визначається відношенням прибутку  $\Pi$  до загальних затрат на виробництво продукції  $Z$ :

$$P_p = \frac{\Pi}{Z} \cdot 100; \quad (5.2)$$

$$P_p = \frac{334742,65}{787257,35} \cdot 100 = 42,5 \text{ \%}.$$

Прибуток визначається як різниця грошових надходжень  $\Gamma_n$  і загальних затрат на виробництво продукції  $Z$ :

$$\Pi = \Gamma_n - Z; \quad (5.3)$$

$$\Pi = 1122000 - 787257,35 = 334742,65.$$

Грошові надходження від реалізації виробленої продукції визначається як добуток кількості виробленої продукції  $N_0$  (т) на її ціну  $C_{\text{пр}}$  (грн./т):

$$\Gamma_n = N_0 \cdot C_{\text{пр}}; \quad (5.4)$$

$$\Gamma_n = 1070 \cdot 1050 = 1122000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на виробництво продукції визначається за формулою:

$$Z = Z_n + Z_u; \quad (5.5)$$

$$Z = 715688,5 + 71568,85 = 787257,35 \text{ грн.}$$

де  $Z_n$  – прямі затрати на виробництво продукції, грн.;

$Z_u$  – непрямі затрати на виробництво продукції, грн.

Прямі затрати на виробництво продукції визначаються як:

$$Z_n = Z_e + A_o + B_c + B_m; \quad (5.6)$$

де  $Z_e$  – експлуатаційні затрати на виробництво продукції, грн. (79320,55грн.);

$A_o$  – амортизаційні відрахування на будівлі і споруди, грн.;

$B_c$  – вартість сировини, що необхідна для виробництва продукції, грн.;

$B_m$  – вартість тари, що необхідна для пакування виробництва продукції, грн

$$Z_n = 97320,55 + 2288 + 612000 + 4080 = 715688,5 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на будівлі визначаються за формулою:

$$A_o = \frac{B_o}{T_e}; \quad (5.7)$$

де  $B_o$  – балансова вартість будівлі, грн.;

$T_e$  – термін експлуатації будівлі, років (приймається 50 років).

$$A_o = \frac{114400}{50} = 2288 \text{ грн.}$$

Балансова вартість будівлі вибирається з довідників, нормативних документів, або розраховується за формулою:

$$B_o = V_o \cdot Z_o; \quad (5.8)$$

де  $V_o$  – будівельний об'єм, м<sup>3</sup>;

$Z_o$  – будівельні затрати на 1 м<sup>3</sup> (приймаємо 400 грн./м<sup>3</sup>).

$$B_o = 286 \cdot 400 = 114400 \text{ грн.}$$

Вартість сировини, яка використовується для виробництва продукції визначається за формулою:

$$B_c = N_0 \cdot Ц_0; \quad (5.9)$$

де  $N_0$  – річна кількість сировини, тон;

$Ц_0$  – вартість сировини, грн./тону.

$$B_c = 1020 \cdot 600 = 612000 \text{ грн.}$$

Непрямі затрати на виробництво продукції становлять 10 % від прямих, тому

$$З_n = З_n \cdot 0,1; \quad (6.10)$$

$$З_n = 715688,5 \cdot 0,1 = 71568,85 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці продукції визначається за формулою:

$$B_\sigma = \frac{З}{N_0}; \quad (5.11)$$

$$B_\sigma = \frac{787257,35}{1020} = 772 \text{ грн./т.}$$

Для визначення строку окупності капітальних вкладень необхідно визначити їх розмір за формулою:

$$K_{\text{кан}} = B_0 + B_\sigma; \quad (5.12)$$

де  $B_0$  – вартість технологічного обладнання, грн.

$$K_{\text{кан}} = 164000 + 114400 = 278400 \text{ грн.}$$

Термін окупності

$$T = \frac{278400}{334742,65} = 0,83 \text{ роки.}$$

Отже, термін окупності капітальних вкладень буде становити 0,83 роки.

## **ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ**

Провівши аналіз господарської діяльності ми бачимо, що господарство має в достатній кількості землі, добре забезпечене засобами виробництва, у достатній кількості є орні угіддя, серед яких більшу площу займають поля під зерновими.

У конструктивній частині розглянуто способи і засоби подрібнення зернових і їх конструкцію та умови роботи основних елементів дробарок. Розглянуто технологічний первинної переробки зерна.

Розраховано основні заходи щодо охорони праці та навколишнього середовища, оскільки дане виробництво супроводжується великим пилевиділенням. Для зменшення шкідливих викидів пилу в довкілля запропоновано ряд пропозицій з охорони довкілля.

Після економічного розрахунку виявлено, що кошти для введення в дію насінесортувального пункту та втілення проекту у роботу є досить невеликі, підприємство буде рентабельним, термін окупності капіталовкладень 0,83 року.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.

1. Дацишин О.В., Ткачук А. І, Чубов Д.С. та ін. Машина та обладнання переробних виробництв: Навч. Посібник // За ред. О.В. Дацишина. - К.: Вища освіта, 2005. - 159 с.: іл.
2. ДСТУ 3218-95. Машина сільськогосподарські. Дробарки. Методи випробувань.
3. Житецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2000. – 347 с.
4. Кильчевський Н.А. Теорія співударення твердих тіл. – К.: Наукова думка, 1999. - 469с.
5. Кірпічніков Ф. Аналіз аеродинамічних процесів у молоткових кормодробарках / Вісник сільськогосподарської науки. – К.: Урожай, 1973. - №
6. Кірпічніков Ф. Аеродинамічне поле в камері молоткової дробарки із замкнутою повітряною системою. //Механізація і електрофікація сільського господарства. Випуск 30. Респуб. міжвід. темат. наук.-техніч. зб. – Київ: Урожай, 1974. - С.35-40.
7. Ковшов В.Н. Постановка інженерного експеримента. – Київ-Донецьк: Вища школа, 1982. - 120с.
8. Коруняк П.С. Вібраційні машини у технологічних процесах та технологіях: Навч. посібник / П.С. Коруняк, І.С. Керницький. – Львів : Сполом, 2019. – 346 с.
9. Коруняк П.С. Визначення кінетическої енергії вібраційної подрібнювальної машини молоткового типу. // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження (№ 1). Львів: Львів. держагроуніверситет, 1997. - № 1. - С.187-191.
10. Коруняк П.,Семкович О, Лозовий І Розвиток засобів ударного подрібнення матеріалів // Вісн. ДУ «Львівська політехніка». - Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. - Львів : 2001. - №422 - С.61-67.

11. Коруняк П.С. Модель роботи молоткової дробарки. //Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. держагроуніверситет, 1999. - № 3. - С..
12. Коруняк П.С. Підстава модернізації устаткування для ударного подрібнення зерна. //Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні і приладобудуванні. Український. міжвід. наук.-техніч. зб. – Львів: 2000. Вип.
13. Лехман С.Д., Рубль В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. – К.: Урожай, 1993. – 270 с
14. Ревенко І.І., Кукта Г.М., Манько В.М., Роговий В.Д., Шабельник Б.П., Сиротюк В.М., Дацишин О.В. Механізація виробництва продукції тваринництва. – К.: Урожай, 1994. – 223 с.
15. Ревенко І.І., Манько В.М. Машиновикористання в тваринництві. – К.: Урожай, 1999. – 241 с.
16. Патент на корисну модель 86191 України, МПК В02С 13/02 Дробарка / Коруняк П.С., Качмар Ю.А., Баранович С.М. – Оpub.25.12.2013. Бюл. № 24. 2013
17. Патент на корисну модель 36723 України, МПК В02С 13/00. Дробарка / Коруняк П. С., Буртак В. В., Оpubл. 10.11.08, Бюл. № 21. 2008
18. Патент на корисну модель 27216 України, МПК В02С 13/00. Дробарка / Коруняк П. С., Буртак В. В., Ванкевич П. І., Похильченко В. В.;Оpubл. 25.10.2007, Бюл. № 17. 2007
19. Пістун І.П., Кіт Ю.В, Березовецький А.П., Ліщук М.Є., Стець М.Б. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2012. 480 с.
20. Яворський А.А., Клименко М.І., Скороход І.М. Підвищення ефективності молоткової дробарки. //Механізація і електрофікація сільського господарства. Випуск 24. Респуб. міжвід. темат. наук.-техніч. зб. – Київ: Урожай, 1973. - С.103-106.