

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Обґрунтування конструктивних параметрів молоткової дробарки»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Тютюнник Роман Васильович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Ковбаса В.П.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Ляшенко С.В.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Молоткові дробарки досить широко використовуються в сільському господарстві та в промисловості. Найбільше їх використання в сільському господарстві, гірничій промисловості та в вуглезбагачувальній фабриках. Молоткові дробарки призначені для дрібного, середнього і крупного дроблення матеріалів низької і середньої твердості, але найчастіше використовують їх для дрібного та середнього дроблення.

Великим резервом збільшення виробництва грубих кормів є використання нетрадиційних джерел сировини для їх виробництва, зокрема, деревних відходів, що утворюються при лісозаготівлях, обрізках садів, виноградників і так далі.

У нашій країні розроблено нові технології отримання з різних видів деревних відходів кормових продуктів та добавок. Проте, застосовуване нині технологічне устаткування, використовувані у ньому подрібнюючі робочі органи не можуть переробляти всю біомасу деревних відходів у сировину для кормовиробництва. Крім того, потрібно спеціальне додаткове обладнання для поділу деревних відходів по фракціях, орієнтації маси щодо робочих органів, що подрібнюють. Це є причиною малої продуктивності, ненадійності експлуатації, низької ефективності.

Технологічне обладнання, що складається з комплекту машин з робочими органами різного типу, об'єднаних в одну технологічну лінію, позбавлено перерахованих вище недоліків. Використання молоткових дробарок, як другий ступінь подрібнення, в лініях з переробки деревних відходів, дозволяє отримувати тріску кормового призначення з усієї біомаси деревних відходів із заданою продуктивністю та необхідною якістю.

Наявні в даний час наукові рекомендації щодо розрахунку та обґрунтування параметрів молоткових дробарок, що використовуються для подрібнення зернових та стеблових кормів, не можуть бути застосовані в розрахунках технологічних та конструктивних параметрів молоткових дробарок, призначених для подрібнення деревних відходів, внаслідок значної відмінності фізико-механічних властивостей подрібнюваних матеріалів.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі вищевикладеного, метою даної роботи є дослідження особливостей руйнування деревних відходів молотковим робочим органом, обґрунтування параметрів молоткової дробарки, що забезпечують отримання тріски кормового призначення при мінімальних енерговитратах з максимальною продуктивністю і необхідною якістю.

Об'єкт дослідження: визначення оптимальних значень параметрів досліджуваної молоткової дробарки, що забезпечують мінімальну питому енергоємність з урахуванням досягнутої якості подрібненої маси.

Предмет дослідження: експериментально дослідити вплив параметрів деки на основні показники роботи молоткового дробарки.

Мета дослідження. Експериментально-теоретичне обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки, що забезпечує подрібнення деревних відходів з якістю, необхідною для їх використання у кормовиробництві.

Практична значущість:

- використання молоткової дробарки з шарнірно-закріпленими робочими органами як другий щабель у лініях для подрібнення деревних відходів дозволяє отримувати сировину для кормовиробництва необхідної якості.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Методи утилізації деревних відходів та проблеми їх промислової переробки на корм

Важливу роль у створенні міцної кормової бази тваринництва, поповнення її різними кормами та поживними речовинами відіграє ліс.

Більшу частину деревини, що заготовлюється в Україні, складають лісоматеріали хвойних порід (на 2-му місці – дуб) та класи якості С та D [1].

До деревних відходів, потенційно придатних для використання на кормові цілі відносяться деревна зелень, гілки, вершини, кора, чагарник, різноманітні відходи стовбурової деревини та інші [2].

Крім деревних відходів, що утворюються при рубках лісу та промислової переробки деревини, щорічно утворюються багатотоннажні деревні відходи при обрізках садових дерев у садах, які є цінною сировиною для отримання кормового гідролізного цукру.

Використання всього обсягу деревних відходів при певній їх переробці дозволить значною мірою подолати дефіцит кормового балансу, що становить 60-70 млн.т кормових одиниць на рік

Деревні відходи мають різноманітну і досить високу поживну цінність. Кормова цінність відходів вища, якщо у ній більше міститься зелені та кори (табл.1.1). При застосуванні методів глибокої хімічної обробки (гідролізу) поживна цінність деревних відходів розглядається у зворотній залежності. Наприклад, якщо деревина листяних порід має поживність 0,04,-0,15 корм.од., а хвойних – менше 0,05 кормових од., то в отриманому з цієї деревини методами глибокої її переробки кормового гідролізного цукру міститься 1,3 і більше кормових одиниць [3].

Деревна зелень містить багато поживних речовин (протеїну, жиру, золи, вуглеводів), а також вітамінів, фітонцидів, хлорофілу та інших біологічно активних елементів. У відходах, що утворюються при окорку деревини, велика кількість полісахаридів, специфічних (смакових, ароматичних та інших компонентів жиру.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деревні відходи багаті полісахаридами, що робить їх перспективним видом сировини для отримання високоенергетичного корму.

Таблиця 1.1 – Безпосередня кормова цінність лісових відходів (за укрупненими показниками)

№ п/п	Вид відходів, %	Перетравлюваність сухої речовини, %	Вміст кормових одиниць (в 1 кг на а.с.в.)
1	Листя, хвоя	50-65	0,6-0,7
2	Дрібні гілки (діаметром до 2 см)	35-45	0,3-0,4
3	Середні гілки (діаметром до 3-4 см)	20-30	0,15-0,25
4	Великі гілки та дрібні дерева (без осики)	10-20	0,05-0,15
5	Деревина листяних порід (без осики)	18-20	0,04-0,15
6	Деревина хвойних порід	до 5	0,01-0,05
7	Осикова деревина	25-35	0,20-0,35
8	Кора	30-45	0,25-0,35

Досягнення науки і практики в галузі переробки деревних відходів дозволяють створити сировинну базу для виробництва різноманітних кормових продуктів і добавок, так як з них можна отримати грубі і соковиті корми (гілки, кормове борошно, лісовий силос і так далі), об'ємні корми підвищеної поживності (лісовий комбікорм, цукровий корм, високопротеїновий корм та інший), вуглеводні (кормові цукри), вуглеводно-мінеральні, вуглеводно-протеїнові кормові та вітамінні добавки та інші [].

Науково-обґрунтовані та перевірені практикою можливості основних напрямів та прийомів отримання кормових продуктів та добавок наведено на рисунку 1.1.

Деревна сировина, за своїм фізичним складом, за винятком дрібних гілок листяних порід (діаметром до 0,6 см), що йдуть на безпосереднє згодовування потребує попереднього подрібнення. Ступінь подрібнення сировини визначається наступними прийомами обробки та характером одержуваного з нього кормового продукту. Якщо корм йде на безпосереднє згодовування тварин, він повинен бути близький за своїми фізичними характеристикам до звичайних грубих кормів, якщо

ж він згодовується після спеціальної підготовки або йде в гідролізне виробництво, то попереднє його подрібнення необхідно для більш ефективної взаємодії з речовинами, що застосовуються для підвищення його поживної цінності або отримання кормового продукту.

Рисунок 1.1 – Основні напрямки та прийоми отримання кормових продуктів та добавок

Оптимальним є такий ступінь подрібнення деревних відходів, при якому виходить грубоволокнистий і пластівцевий матеріал. Розміри деревних частинок кормового призначення наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Оптимальні розміри деревних частинок, призначених для кормового використання

Найменування подальшої переробки	Товщина, мм	Ширина, мм	Довжина, мм	Види часток
Безпосереднє згодовування оцукрювання, дріжджування і так далі	0,2-0,6	1-2	5-15	Пластівці, частки грубого. помелу
Сушіння та подрібнення на АВМ	1-3	2-6	20-50	Січка, різання, тріска, стружка

Розмірні параметри деревних частинок варіюються залежно від породи деревини: для відходів з гілок м'якої деревини (осика, липа, вільха) вони можуть бути більшими, ніж для відходів твердої та в'язкої деревини (верба, хвойні).

Як видно з таблиці 1.2 у кормових цілях використовується незначна кількість деревних відходів: близько 2 млн.т зелені для вітамінного борошна; 6-7 млн.т. гілок діаметром до 1,5 см для заготівлі гілкових «пластівців»; 5-6 млн.м3 відходів стовбурової деревини як технологічної тріски для кормових дріжджів []. Інша частина використовуваних деревних відходів знаходить застосування в некормовій сфері, пов'язаної з виробництвом картону, арболіту, спирту, деревинно-стружкових і деревноволокнистих плит і так далі. В даний час у зв'язку з розв'язанням задачі використання тонкомірних гілок, сучків, крон і так далі, як сировини для виробництва кормів, виникла необхідність створення технологічного обладнання, що дозволяє утилізувати всю біомасу деревних відходів у кормовому напрямку.

1.2 Технологічне обладнання для подрібнення деревних відходів

На основі досвіду експлуатації існуючого обладнання можна сформулювати основні вимоги, яким має відповідати обладнання, призначене для подрібнення деревних відходів з подальшим використанням їх у кормовому напрямку []:

- забезпечення переробки всієї біомаси деревних відходів, що є хлистами, довжиною 3-4 м, сучки, гілки і крони дерев діаметром до 160 мм у сировину для кормовиробництва;
- забезпечення мінімальної питомої енергоємності при заданій якості подрібнення;
- забезпечення виключення забруднення одержуваного продукту мінеральними включеннями;
- простота та надійність в експлуатації;
- відповідність техніки та технології сучасним загальнотехнічним і соціально-економічним тенденціям (виключення ручної праці, підвищення енергоозброєності, збільшення продуктивності, виключення багатоопераційності тощо);
- виключення сезонності роботи устаткування.

Технологічні вимоги, що представлені для переробки сировини і зумовлені областю застосування деревних відходів, сприяли створенню в нашій країні різного устаткування їх подрібнення []. Основна відмінність цих машин полягає у використанні робочих органів різних типів. Типи робочих органів для подрібнення деревних відходів наведено на рис. 1.2.

Вибір робочого органу машини для подрібнення деревних відходів повинен ґрунтуватися на аналізі практики використання та експериментальних досліджень робочих органів з урахуванням вимог, що представлені для подрібнювачів деревних відходів та призначенням одержуваної маси.

Рисунок 1.2 – Типи робочих органів подрібнювачів деревних відходів

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вальцеві робочі органи поділяються на рифлені та ребристі. Ребристі вальцеві робочі органи це набір дисків, в пази яких вставляються і кріпляться ножі, розташовані паралельно осі обертання вальця. Ребристі вальці в даний час використовуються в конструкції експериментальних кушорізів КН-1,2 та у вальцевій дробарці ДВ-1,2. Дані робочі органи здійснюють подрібнення деревних відходів необмеженої довжини на маломірні відрізки довжиною 120-160 мм, діаметр відходів, що переробляються, до 150 мм []. Ребристі вальці подрібнюють відходи деревини будь-якої породи і вологості. Конструкція їх відрізняється простотою та надійністю в експлуатації, високою продуктивністю. До недоліків слід віднести розмір одержуваних відрізків, які при подальшій переробці в кормових цілях необхідно додрібнювати.

Рифлені вальці являють собою циліндричної форми барабан, на поверхні якого є рифлі. Рифлені вальці можна використовувати для тонкого подрібнення деревних відходів невеликого діаметру, але вони мають ряд недоліків, які обмежують їх застосування. Найбільш істотним з них є налипання подрібнюваної маси на рифлі, що призводить до різкого погіршення процесу подрібнення, потрібна зупинка машини та очищення вальців. Рифлені вальці добре працюють при подрібненні крихких матеріалів [].

Різцеві робочі органи являють собою різець, що обертається, закріплений в оправці, до якого подається стовбур подрібнюваної деревини. Існують інші модифікації машин, в яких навпаки різець нерухомий, а обертається стовбур подрібнюваної деревини. В основному машини, в яких використовуються різцеві робочі органи, призначені для переробки ділової деревини, з метою отримання деревного шпону, технологічної тріски для виробництва деревинно-стружкових (ДСП) та деревно-волокнистих плит (ДВП) і так далі []. Подрібнювати лісосічні відходи у машинах такої конструкції неможливо.

Ножеві робочі органи поділяються на пуансонні і рубальні.

Пуансонні робочі органи це набір обертових і нерухомих ножів. Подрібнення відбувається шляхом перерізання подрібнюваної маси рухомим ножем при попаданні її на два нерухомих ножі. Рухомі ножі бувають зубчасті та гладкі. В

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основному робочі органи пуансонного типу застосовуються в подрібнювачах грубих кормів (Шнеко-ножовий подрібнювач, подрібнювач виноградної лози [] і так далі в якості другої ступеня. Недоліком цих подрібнювачів є їх висока енергоємність, низька продуктивність, необхідність попереднього подрібнення маси, часта поломка ножів при попаданні мінеральних включень не більше 1,5 см попередньо подрібнених [].

Рубальні робочі органи поділяються на дискові та барабанні. Барабанні у свою чергу поділяються на циліндричні та конічні. При використанні рубальних робочих органів для подрібнення ділової деревини та відходів з неї виходить кондиційна технологічна тріска, яка використовується в гідролізному та паперовому виробництві для отримання ДСП, ДВП та інших будівельних матеріалів. У лісовій промисловості є також різне обладнання для подрібнення лісосічних відходів на напівфабрикати некормового призначення. Використовуване технологічне обладнання базується на рубальних машинах. Технічні характеристики стаціонарних рубальних машин наведено у табл.1 (Додаток). Але як показав досвід використання рубальних машин як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, для подрібнення деревних відходів дає дуже низькі результати. Проблема полягає в тому, що розміри приймальних вікон дробарок обмежені, оскільки призначені для ділової деревини і практично неможливо зменшити крону дерева до необхідного розміру. При обтисканні крон відбувається обламування тонких гілок і листя, випадання їх з транспортера, що подає, що призводить до втрати найбільш цінної сировини для виробництва кормових напівфабрикатів. Установка широких патронів і потужних механізмів подачі забезпечує дуже високу ефективність подрібнення лісосічних відходів, але незважаючи на високі технічні характеристики агрегату через низьку якість подрібнюваного матеріалу продуктивність процесу нижча, ніж при подрібненні ділової деревини і тому експлуатаційні витрати значні []. Крім того при збільшенні розміру патрона, що подає, погіршуються умови роботи дискових робочих органів, так як робоча швидкість ножів залежить від діаметра диска, збільшуючись від його центру до периферії, то при попаданні маси до центру диска може відбутися його

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заклинювання або поломка ножів. Тріска, що отримується на рубальних машинах не відповідає вимогам, що висуваються до розмірів деревних частинок кормового призначення (табл. 1.2) і вимагає додаткового подрібнення []. Це пояснюється тим, що неможливо суворо зорієнтувати масу, що подається до рубального робочого органу. Істотним недоліком рубальних робочих органів є також їх часта поломка та затуплення. Для забезпечення необхідної якості тріски, необхідно перезаточувати ножі рубальних машин через кожні 4 години роботи, при цьому потрібен спеціальний заточувальний пристрій. Все це в цілому знижує продуктивність машини з рубальними робочими органами і збільшує експлуатаційні витрати.

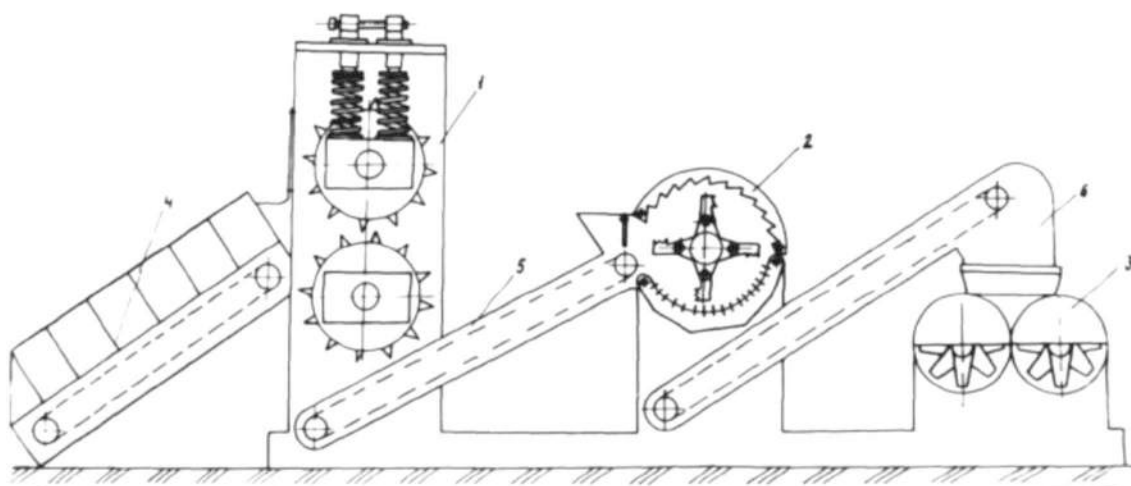
Молоткові робочі органи являють собою ротор з шарнірно закріпленими молотками пластинчастої або об'ємної форми. Пластинчасті молотки можуть бути прямокутними, ступінчастими і фігурними, об'ємні – суцільними та складовими. В основному молоткові робочі органи застосовуються у сільському господарстві для подрібнення зерна, грубих кормів, комбікормів тощо. Подрібнювачі грубих кормів (ДКУ, ДКМ, ІГК), що серійно випускаються, здатні подрібнювати тільки тонкі гілки діаметром до 1,5 см []. При цьому гілки перед подрібненням повинні бути відокремлені від стовбурів і сортовані по діаметру. Подача сировини в подрібнювачі виробляється вручну, окремими гілками. Як показав досвід, продуктивність сільськогосподарських подрібнювачів грубих кормів при переробці тонких гілок діаметром до 1,5 см в 2-3 рази нижче, ніж при подрібненні стандартної сировини і становить 0,8-1,5 т/год []. При подрібненні деревних відходів діаметром до 3 см на подрібнювачах з молотковими робочими органами гілки необхідно попередньо подрібнювати []. Попереднє дроблення здійснюється на стаціонарно встановлених косарках-подрібнювачах КІР-1,5, КІК-1,4, «Вихор» і так далі, але при цьому для виключення недовикористання потужностей одну косарку необхідно агрегатувати з 3-4 дробарками-подрібнювачами, що різко підвищує питому витрату енергії на одиницю одержуваного продукту []. Істотним недоліком серійних подрібнювачів є непристосованість цих машин для дроблення маси підвищеної вологості, якою є деревина (деки молоткових дробарок часто забиваються). Молоткові робочі органи більш надійні в експлуатації, ніж усі

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перераховані вище, оскільки шарнірне кріплення молотків дозволяє їм відхилятися за наявності в подрібнюваній масі твердих мінеральних включень. Маса, подрібнена молотковим робочим органом, відрізняється від технологічної тріски наявністю розщепленості як вздовж, так і поперек волокон і може бути безпосередньо перероблена на АВМ в кордове борошно або використана в гідролізному виробництві [].

З аналізу типів робочих органів для подрібнення деревних відходів можна дійти невтішного висновку, що жоден тип робочих органів не задовольняє повністю вимогам, що висуваються до подрібнювачів деревних відходів. Цю проблему можна вирішити комплексним підбором машин з різними типами робочих органів та об'єднанням їх у технологічний ланцюжок для отримання тріски кормового призначення з усієї біомаси деревних відходів.

Відповідно до зоотехнічних вимог на комплекти технологічного обладнання для приготування вітамінного борошна з деревини [] у ряді підприємств країни було створено стаціонарне технологічне обладнання, що дозволяє отримувати з деревних відходів вітамінне борошно.



1 – дробарка вальцева; 2 – дробарка молоткова; 3 – шнеко-ножовий подрібнювач; 4, 5, 6 – транспортери

Рисунок 1.3 – Лінія для подрібнення деревно-чагарникової сировини

З вищенаведеного можна зробити висновок, що для подрібнення деревних відходів з метою отримання кормових напівфабрикатів найбільш доцільно використовувати комплекс машин з робочими органами різних типів, які б

задовольняли вимогам, що пред'являються до подрібнювачів деревних відходів. Попередніми дослідженнями встановлено [], що лінія з подрібнення малоцінної деревно-чагарникової сировини найповніше задовольняє вимогам, що висувуються до подрібнювачів грубих кормів і дозволяє утилізувати всю біомасу деревних відходів у кормових цілях. Вищеназвана лінія складається з трьох машин: вальцевої дробарки 1, молоткової дробарки 2, шнеко-ножового подрібнювача (ШНИ) 3, пов'язаних між собою транспортерами 4, 5, 6 (див. рис. 1.3).

Лінія призначена для подрібнення деревних відходів необмеженої довжини діаметром до 150 мм без попередньої обрубки сучків і гілок. Працює лінія в такий спосіб. Деревні відходи (гілки, сучки, тонкомірні дерева, крони і так далі) за допомогою навантажувачів подаються на ланцюгово-планчастий транспортер 4, який переміщає їх до вальців дробарки 1. Маса подрібнюється ребристими вальцями на маломірні відрізки і за допомогою транспортера 5 подається в молоткову дробарку 2. В молотковій дробарці маломірні відрізки подрібнюються шарнірно-закріпленими молотками в тріску, яка через сепаруючу деку потрапляє на транспортер 6 і подається в шнеко-ножовий подрібнювач, де переробляється в деревні пластівці. Потім деревні пластівці подаються для подальшої переробки в агрегат вітамінного борошна (АВБ) або транспортний засіб, в залежності від кінцевого призначення. Дана лінія дозволяє значно скоротити час переробки деревних відходів, дає високу якість подрібнюваного продукту, має високу продуктивність []. Лінія без шнеко-ножового подрібнювача агрегується з АВБ, при цьому зменшується питома витрата енергії, так як ШНІ – найбільш енергоємна машина лінії []. Тріска, одержувана після молоткової дробарки може бути використана в гідролізному виробництві (див. додаток). Кожна робоча машина лінії може бути використана окремо.

Вальцева дробарка може бути застосована для подрібнення деревних відходів на верхніх і нижніх складах лісосмуг для поліпшення транспортабельності маси. Перевагою цієї машини є простота конструкції, надійність при експлуатації. На відміну від рубальних машин, маса подрібнювана на вальцевій дробарці не вимагає спеціальної орієнтації щодо робочих органів, також немає необхідності

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовувати обтискаючі вальці для зменшення розмірів крон і примусову подачу, так як вальці дробарки мають гарну захоплюючу здатність. Продуктивність вальцевої дробарки при подрібненні деревних відходів становить 15-20 т/год, що значно більше, ніж продуктивність стаціонарних рубальних машин. Маломірні відрізки, одержувані на вальцевій дробарці, мають середній розмір за довжиною 120-160 мм і діаметром 30-60 мм, залежно від розмірів вихідної маси.

Молоткова дробарка, що є другим ступенем в лінії, дозволяє подрібнювати отримані маломірні відрізки деревини з високою продуктивністю і якістю, відповідним вимогам, що пред'являються до тріски кормового призначення []. Отримувана тріска відрізняється від тріски після рубальних машин розщепленістю як уздовж, так і в поперек волокон. Шарнірне кріплення робочих органів молоткової дробарки дозволяє їм відхилятися при попаданні в подрібнюваний матеріал твердих мінеральних включень, що виключає їх поломку та збільшує термін експлуатації. Молоткова дробарка може бути використана самостійно для подрібнення різних сільськогосподарських культур, таких як солома, кукурудзяні качани, стебла соняшнику, кукурудзи і так далі.

Як відомо в країні створено низку технологій, що дозволяють утилізувати деревні відходи в кормовому напрямку [], проте досі відсутні спеціальні технічні засоби, що дозволяють виробляти комплексну заготівлю сировини для кормовиробництва з усієї біомаси деревних відходів, що не дозволяють застосовувати розроблені технології переробки кормової сировини повною мірою. Обладнання для переробки деревних відходів, що випускається промисловістю в кормових цілях, енергоємне, малопродуктивне, при переробці сировини утворюються невикористовувані відходи. Лінія для подрібнення малоцінної деревно-чагарникової сировини найбільш повністю задовольняє вимогам, що висуваються до обладнання для подрібнення відходів деревини. Однак для досягнення максимальної продуктивності лінії, зниження енергоємності та підвищення якості тріски, необхідно оптимізувати параметри молоткової дробарки, що визначає продуктивність лінії та якість подрібненої маси.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі аналізу технологій та технологічного обладнання для подрібнення деревних відходів з урахуванням фізико-механічних властивостей деревини, можна зробити такі висновки:

- отримання сировини для кормовиробництва із усієї біомаси деревини є найбільш раціональним та перспективним шляхом утилізації деревних відходів;
- з метою отримання сировини для виробництва кормового борошна з усієї біомаси деревних відходів доцільно використовувати технологічне обладнання, що передбачає подрібнення цілих хлестів деревних відходів у кілька стадій;
- як другий ступінь подрібнення деревних відходів використання молоткової дробарки є найбільш ефективним;
- процес подрібнення деревних відходів у молоткових дробарках суттєво відрізняється від аналогічних процесів на інших видах сировини, через значну відмінність фізико-механічних властивостей.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

2.1 Визначення критичних швидкостей удару

При дослідженні процесу подрібнення деревних відходів у молотковій дробарці запропонованої конструкції за допомогою швидкісної кінозйомки встановлено, що руйнування відрізків деревини відбувається за рахунок вільного удару молотка і при ударі відкинутого відрізка про рифлі та протирізи глухої деки. Оскільки деревина є анізотропним матеріалом, значення критичної швидкості залежить від положення волокон подрібнюваного відрізка щодо бойка молотка або ножа протирізу в момент удару, тому при аналітичному визначенні критичної швидкості необхідно розглянути два найбільш характерні види удару: удар вздовж волокон і удар поперек волокон відрізка.

Напруги, що у зоні удару молотка по відрізку деревини, залежить від сили їх взаємодії. У тому випадку, коли напруги, що виникають у відрізку деревини, перевищать межу міцності, станеться руйнування, тобто умовою руйнування деревини є

$$\sigma_{\max} \geq [\sigma]_{\text{табл}}, \quad (2.1)$$

де $\sigma_{\max}$ – максимальна напруга, що виникає в зоні удару молотка;

$[\sigma]_{\text{табл}}$ – міцності деревини, що визначається фізико-механічними властивостями матеріалу і напрямом прикладеної руйнівної сили.

Необхідно встановити залежність напруги, що виникають у зоні удару від швидкості молотка, фізико-механічних властивостей деревини, геометричних параметрів молотка і відрізка деревини, що подрібнюється. Отримані залежності дозволять встановити значення критичних швидкостей для різних видів зіткнення, у яких відбувається руйнація відрізків деревини вільним ударом. При цьому питома витрата енергії дроблення нижча, ніж за інших видів подрібнення [].

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.1 Визначення критичної швидкості при ударі молотка вздовж волокон відрізка, що подрібнюється

При розв'язанні цієї задачі зроблено такі припущення: процес зіткнення молотка і відрізка деревини розглядається як зіткнення вантажу маси m_2 по стрижню постійного перерізу F_1 маси m_1 (див. рис. 2.1); маса вантажу m_2 дорівнює масі молотка, наведеної до точки удару; в початковий момент часу вантаж рухається зі швидкістю V_0 стрижень нерухомий.

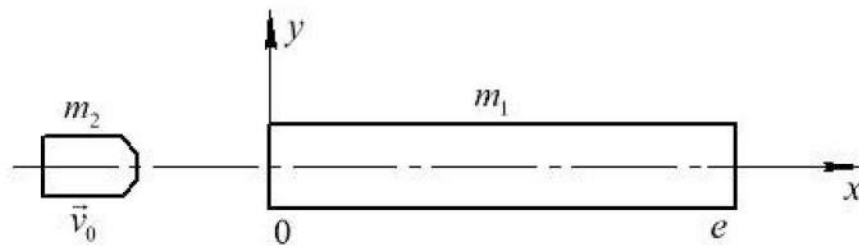


Рисунок 2.1 – Схема зіткнення при ударі молотка вздовж волокон відрізка, що подрібнюється

Початок координат розташуємо у точці удару, другий кінець стрижня $x = l$ вільний. Слідуючи основним гіпотезам теорії удару Герца вважаємо, що місцеві деформації, що розвиваються поблизу контакту тіл, пов'язані з контактною силою статичних залежностей [1].

$$P = k \cdot \alpha^{3/2}, \quad (2.2)$$

де P – контактна сила;

α – зближення тіл за рахунок місцевої деформації;

k – коефіцієнт, що залежить від геометрії тіл в околиці точки удару і властивостей матеріалу.

Оскільки торцева поверхня стрижня плоска, а радіус кривизни поверхні вантажу в околиці точки удару R_2 дорівнює двом радіусам затуплення зубця бойка молотка (2 ч), то формула для визначення k має вигляд [1]

$$k = \frac{4}{3 \cdot \pi \cdot (K_1 + K_2)} \cdot \sqrt{R_2}, \quad (2.3)$$

$$K_1 = \frac{\lambda_c + 2 \cdot \mu_c}{4 \cdot \pi \cdot \mu_c \cdot (\lambda_c + \mu_c)}; K_2 = \frac{\lambda_z + 2 \cdot \mu_z}{4 \cdot \pi \cdot \mu_z \cdot (\lambda_z + \mu_z)},$$

$\lambda_c, \lambda_z, \mu_c, \mu_z$ – коефіцієнти Ламе відповідно для стрижня та вантажу.

При динамічному руйнуванні поряд із місцевими деформаціями до уваги необхідно брати і загальні деформації, які розраховуються методами теорії коливань або енергетичними методами [].

Залежність (2.1) носить нелінійний характер, що дуже утруднює розрахунки. Встановлено, що досить точні результати виходять при досить грубих способах лінеризації. При цьому необхідно в лінеризованій залежності:

$$P = \frac{1}{\sigma_m} \cdot \alpha, \quad (2.4)$$

коефіцієнт місцевої податливості σ_m вибирати таким чином, щоб при максимальному значенні контактної сили потенційна енергія деформацій при лінійній і нелінійній залежності була однаковою.

Ця вимога визначається рівністю

$$\frac{1}{2} \cdot P_{\max}^2 \cdot \sigma_m = \int_0^{\alpha(P_{\max})} P(\alpha) \cdot d\alpha, \quad (2.5)$$

звідки з урахуванням (2.1) маємо

$$\sigma_m = \frac{4}{5 \cdot \sqrt[3]{k^2 \cdot P_{\max}}}. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт місцевої податливості $\sigma_{\max}$ залежить від максимальної контактної сили $P_{\max}$, яка може бути визначена лише після повного розв'язання задачі. Але оскільки залежність $\sigma_{\max}$ від $P_{\max}$ є слабкою, досить грубо оцінити $P_{\max}$ щоб отримати достовірне значення $\sigma_{\max}$.

Аналізуючи залежність контактної сили P від місцевої деформації за формулою (2.4) та використовуючи рівняння руху вантажу отримаємо наступне хвильове рівняння, що визначає контактну силу Pt

$$P'' + 2 \cdot f \cdot P' + (f^2 + h^2) \cdot P = -\frac{1}{\sigma_m} \cdot \Phi' \left(t - \frac{2 \cdot l}{a} \right) \quad (2.7)$$

де

$$f = \frac{a}{2 \cdot \sigma_m \cdot E_1 \cdot F_1},$$

$$h^2 = \frac{1}{\sigma_m \cdot m_2} - f^2,$$

$$a = \sqrt{\frac{E_1}{\rho}} \text{ – швидкість поширення деформації вздовж стрижня;}$$

ρ – щільність матеріалу стрижня;

F_1 – площа поперечного перерізу стрижня;

E_1 – модуль пружності матеріалу стрижня.

Якщо до удару вантаж масою m_2 рухався зі швидкістю V_o , а стрижень масою m_1 був нерухомий, то в момент найбільшого стиснення вони рухатимуться з однаковою швидкістю

$$V_1 = \frac{m_1 \cdot V_o}{m_1 + m_2}, \quad (2.8)$$

зберігши при цьому кінетичну енергію

$$T_1 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v_1^2}{2} = \frac{m_2^2 \cdot v_o^2}{2 \cdot (m_1 + m_2)}.$$

Зміна кінетичної енергії ΔT системи в процесі удару визначається з виразу

$$\Delta T = \frac{m_2 \cdot v_o^2}{2} - \frac{m_2^2 \cdot v_o^2}{2 \cdot (m_1 + m_2)} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{v_o^2}{2}. \quad (2.9)$$

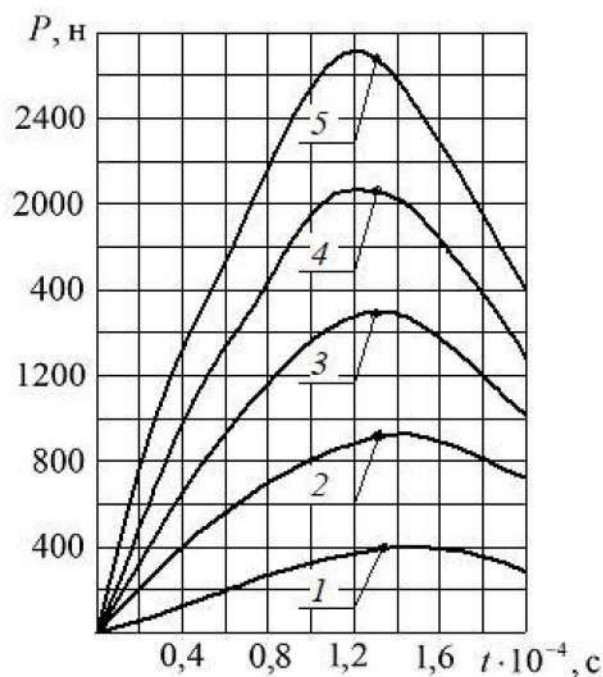
Саме ця енергія витрачається на деформацію стрижня.

При визначенні потенційної енергії деформації стрижня необхідно задати закон зміни внутрішніх сил за його довжиною. Вважаємо, що контактна сила змінюється за лінійним законом від нуля на вільному кінці стрижня до $P_{\max}$ на навантаженому.

Вираз, що визначає потенційну енергію загальних деформацій стрижня, має вигляд

$$V_{o.g.}^{\max} = \frac{P_{\max}^2 \cdot l}{6 \cdot E_1 \cdot F_1}. \quad (2.10)$$

Запропонованим методом, за спеціальною програмою були отримані залежності $P(t)$ і значення $P_{\max}$ для різних швидкостей робочих органів молоткової дробарки пропонованої конструкції. Значення $P(t)$, одержані для відрізка деревини довжиною $l = 0,2$ м, діаметром $d = 0,05$ м, $\rho = 0,54$ кг/м³ (сосна), $\sigma_1 = 0,22$ наведені на рис.2.2.



1 – $V_m = 20$ м/с; 2 – $V_m = 40$ м/с; 3 – $V_m = 60$ м/с; 4 – $V_m = 80$ м/с; 5 – $V_m = 100$ м/с

Рисунок 2.2 – Залежність контактної сили від окружної швидкості молотка
Як бачимо із рисунка 2.2, зі збільшенням швидкості молотка значення максимальної сили, що виникає в зоні контакту значно збільшується, а час, за який сила досягає свого максимального значення, зменшується, отже при високих швидкостях молотка ударна взаємодія відбувається інтенсивніше.

При ударі битка молотка вздовж волокон відрізка деревини, що подрібнюється, відбувається його, розколювання на конгруентні шари []. При

цьому попереду зуба битка утворюється випереджальна тріщина, аналогічна тріщинам, що утворюються при різанні деревини вздовж волокон, тому з механіко-математичної точки зору особливої різниці між різанням і розколюванням деревини вздовж волокон не існує.

Розглянемо симетричне розколювання вільного відрізка деревини на рівні частини. Розколювання проводиться двограним симетричним клином, що впроваджується у відрізок уздовж його осі силою, P залежить у площині симетрії клину (рис. 2.3).

При вирішенні цього завдання силою тертя нехтуємо. На одну грань різця діють такі сили:

P – сила, прикладена до розколюючого клину у бік його застосування;

R – сила, спрямована перпендикулярно площині розколювання;

S – сила, спрямована перпендикулярно грані клину.

Відомо, що деформації деревини по площині розколювання, що відбуваються в напрямку, нормальному до цієї площини, змінюються вздовж осі розрізаного відрізка по тому ж закону, що і деформація пружної основи при відтягуванні від основи цієї балки, пов'язаної з ним. Відколоті половинки грають одна по відношенню до іншої роль пружної основи.

У цій задачі будемо зіставляти розколювання відрізка деревини з вигином балки, пов'язаної з пружною основою, при цьому максимальний прогин половинки відрізка в точці A в момент, що розглядається, буде дорівнює y_1 . Ця величина одночасно є максимальною деформацією підстави в точці A .

Перенесемо початок координат у точку A і для спрощення будемо вважати, що у цій точці прикладена сила R .

Рівняння, що визначає y_1 має вигляд []

$$y_1 = \frac{R}{2 \cdot S^3 \cdot E_{11} \cdot W};$$

$$S = \sqrt[4]{\frac{C_n}{4 \cdot E_{11} \cdot W}},$$
(2.11)

де E_{11} – модуль пружності деревини при згинанні в площині волокон;
 W – момент опору поперечного перерізу відрізка деревини;
 C_n – коефіцієнт пружності основи.

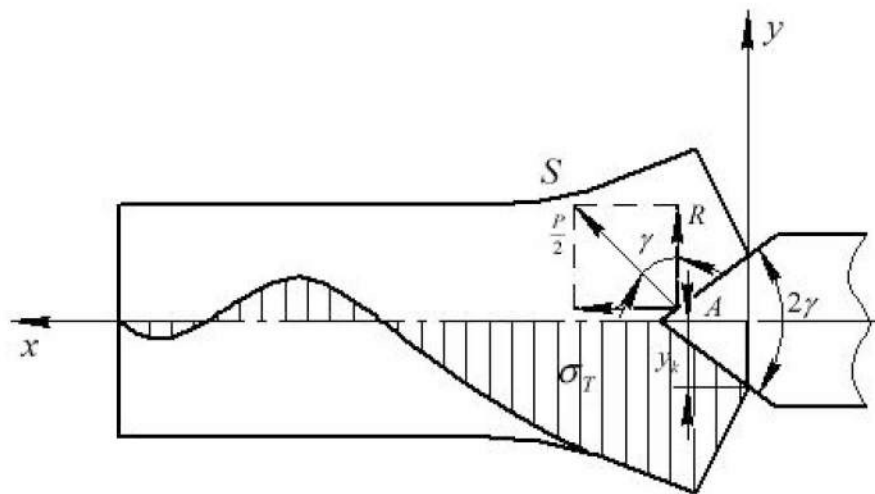


Рисунок 2.3 – Схема руйнування відрізка деревини при ударі вздовж волокон

Враховуючи, що

$$R = \frac{P}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}, \quad (2.12)$$

для y_1 отримуємо

$$y_1 = \frac{P}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma} \cdot \sqrt[4]{\frac{4}{E_{11} \cdot W \cdot C_n^3}}. \quad (2.13)$$

З визначення поняття «коефіцієнт пружності основи» маємо

$$\sigma_{вн} = C_n \cdot y_1, \quad (2.14)$$

де $\sigma_{вн}$ – опір основи на одиницю довжини балки (в даному випадку – межа міцності деревини на розрив упоперек волокон). Підставивши в (2.12) вираз для y_1 з (2.13), отримаємо остаточно

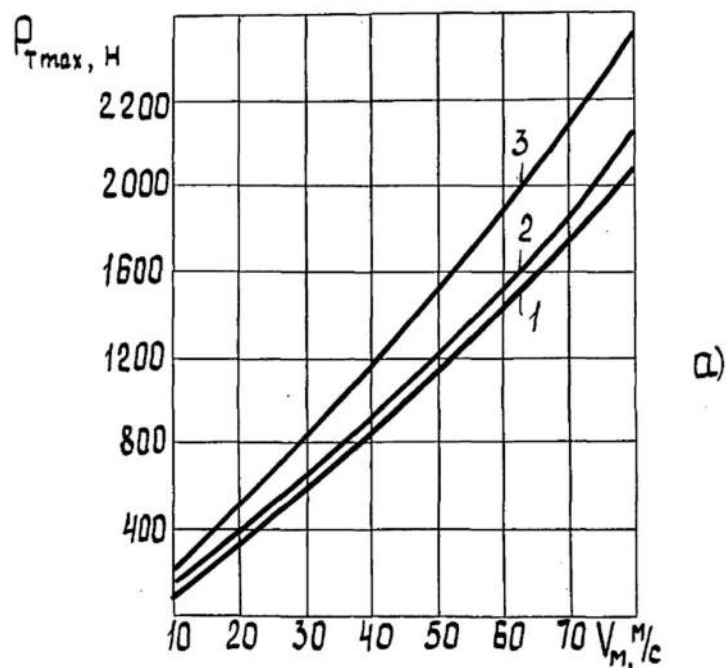
$$\sigma_{вн} = \frac{P}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma} \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot C_n}{E_{11} \cdot W}}. \quad (2.15)$$

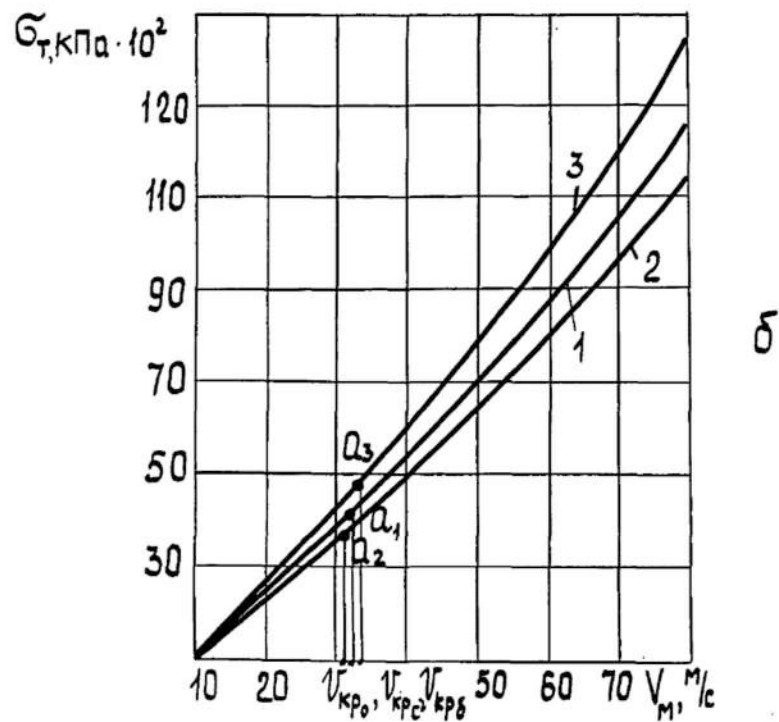
Обчислюючи вирази, що стоять у правій частині формули (2.15), і порівнюючи його з табличним значенням $[\sigma_{вн}]_{\text{табл}}$ визначаємо, при яких вихідних даних настає руйнування відрізка деревини, що подрібнюється. Розрахунки

виконувались за спеціальною програмою для різних порід деревини та вихідних даних.

На рис. 2.4 а, б представлені залежності контактної сили $P_{\max}$ і напруги $\sigma_{\text{вн}}$, що виникають у відрізках деревини різних порід при ударі від швидкості молотка. Залежності отримані для відрізків, що мають однакові розміри і відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями. Як видно з малюнка, руйнування відрізків різних порід при ударі вздовж волокон відбувається приблизно за однакових швидкостей: сосна – $V_m = 32$ м/с; осика – $V_m = 31$ м/с; береза – $V_m = 33$ м/с.

На рис. 2.5. наведено отримані залежності критичної швидкості удару від довжини та діаметра подрібнених відрізків. Було визначено область зміни значень критичної швидкості кожної породи деревних відходів з урахуванням розмірів вихідного матеріалу (див. розділ 3) при руйнуванні його вільним ударом вздовж волокон.

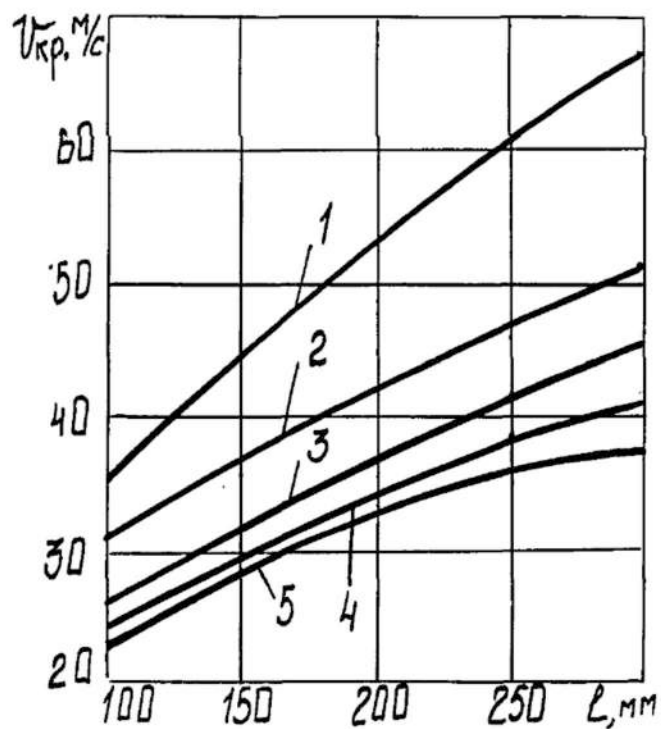




а) $P_{\max} = f(V_{м})$, б) $V_{м} = f(V_{м})$

1 – сосна $V_{кр} = 32$ м/с; 2 – осика $V_{кр} = 31$ м/с; 3 – береза $V_{кр} = 33$ м/с

Рисунок 2.4 – Залежність максимальної контактної сили $P_{\max}$ і поточної напруги $\sigma_{вн}$ від швидкості молотка при ударі вздовж волокон



1 – $d = 10$ мм; 2 – $d = 20$ мм; 3 – $d = 30$ мм; 4 – $d = 40$ мм; 5 – $d = 50$ мм

Рисунок 2.5 – Залежність критичної швидкості удару від розмірів відрізків, що подрібнюються при ударі вздовж волокон:

2.1.2 Визначення критичної швидкості при ударі поперек волокон відрізка, що подрібнюється

При вирішенні цієї задачі відрізок деревини, що подрібнюється, представимо у вигляді балки з незакріпленими кінцями. Припустимо: швидкість відрізка деревини до удару дорівнює нулю; початкова швидкість зіткнення дорівнює швидкості молотка V_o , дією постійних сил за час удару нехтуємо. Схема зіткнення представлена на рис. 2.6.

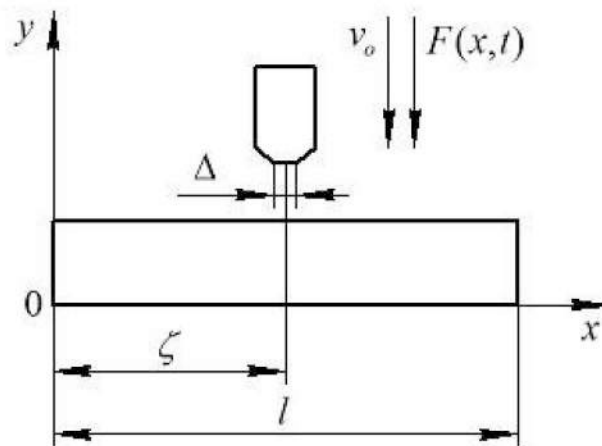


Рисунок 2.6 – Схема зіткнення молотка і відрізка деревини, що подрібнюється при ударі поперек волокон

За початок відліку часу приймаємо момент дотику. Інтегральне рівняння, що визначає силу $P(t)$, виникає в зоні контакту при ударі молотка по балці з урахуванням місцевих та загальних деформацій та має вигляд

$$\int_0^t P(\theta) \cdot Y(t - \theta) \cdot d\theta + \int[P(t)] = V_o, \quad (2.16)$$

де $Y(t) = Y_1(t) + Y_2(t)$ – реакції на одиничний імпульс відповідно балки та молотка;

$\int_0^t P(\theta) \cdot Y(t - \theta) \cdot d\theta$ – вираз, що характеризує загальні деформації, які

виникають у зоні контакту молотка та балки;

$\int [P(t)]$ – місцеві деформації, що визначаються формою тіл, які ударяються в зоні контакту.

Визначимо реакцію $Y_1(t)$ балки, що розглядається, на одиничний імпульс. Під дією сили $F(x, t)$ балка здійснюватиме вимушені коливання, що описуються рівнянням

$$\frac{d^2 \cdot y}{d \cdot t^2} + a^2 \cdot \frac{d^4 \cdot y}{d \cdot x^2} = -\frac{1}{m} \cdot F(x, t), \quad (2.17)$$

де

$$a^2 = \frac{E \cdot I \cdot l}{m},$$

$E \cdot I$ – жорсткість балки;

m – маса балки;

l – довжина балки.

Для визначення реакції молотка $Y_2(t)$ необхідно розглянути рух системи ротор-молоток після впливу імпульсного ударного навантаження. Згідно з [], шукана реакція $Y_2(t)$ описується двома координатами (рис. 2.7): $y_1(t)$ – кут, що описує положення ротора; $y_2(t)$ – кут, що описує положення молотка.

Шукана реакція молотка на одиничний імпульс пов'язана з вказаними кутами наступною залежністю

$$Y_2(t) = (R_p + R_M) \cdot y_1(t) + R_M \cdot y_2(t) \quad (2.18)$$

Аналітичне рішення задачі про руйнування деревини вздовж волокон було отримано при використанні моделі балки, пов'язаної з пружною основою. Волокниста будова деревини дозволяє використовувати цю ж модель і при дослідженні руйнування поперек волокон [].

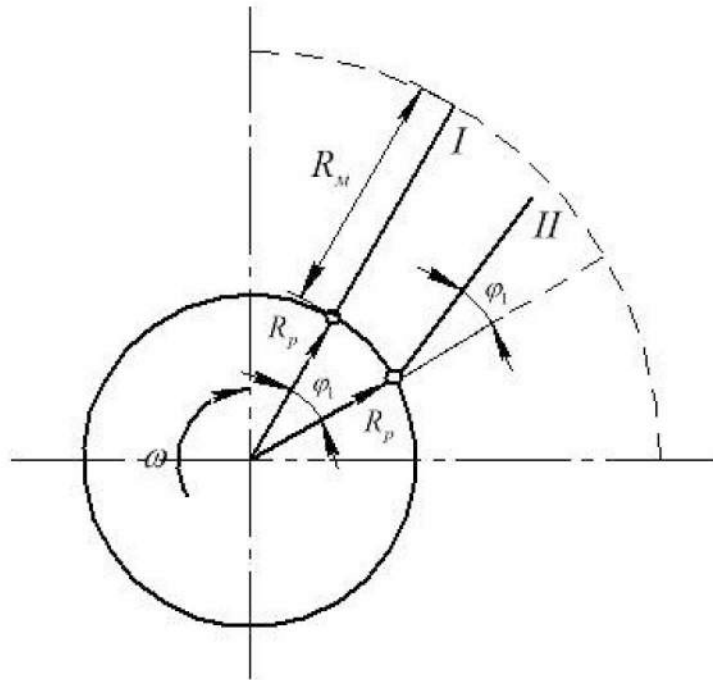


Рисунок 2.7 – Рух системи ротор-молоток після впливу імпульсного ударного навантаження.

У момент удару молотка поперек волокон відрізка деревини, що подрібнюється, відбуваються одночасно наступні явища (рис. 2.8):

- перерізання волокон лезом зуба молотка;
- стиск волокон під дією сили R ;
- прогин неперерізаних волокон під дією сили P в напрямку удару;
- розрив деревини та розшарування під дією сили P при досягненні величини напруги розтягування деревини поперек волокон критичного значення σ_{pmax} , що перевищує межу міцності на розрив деревини поперек волокон;
- сколювання перерізаних шарів уздовж волокон під дією сили R при досягненні величини напруги критичного значення σ_{max} перевищує межу міцності при сколюванні деревини вздовж волокон.

Отже, при ударі молотка поперек волокон подрібненого відрізка відбувається руйнування і за рахунок вигину волокон, і перерізання, і сколювання перерізаних шарів деревини. З перелічених видів руйнувань найбільший опір деревина надає вигину.

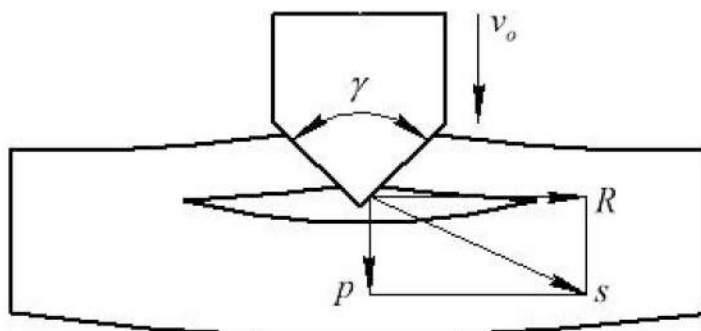


Рисунок 2.8 – Схема розрахунку руйнівної напруги при ударі поперек волокон

Напруги, що виникають при згинанні неперерізаних волокон визначаються за формулою

$$\sigma_{m} = P \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot C_n}{E_n \cdot W}}. \quad (2.19)$$

Обчислюючи вирази, що стоять у правій частині формули (2.19) і порівнюючи його з табличним значенням $[\sigma]_{\text{табл.}}$, визначаємо значення швидкості молотка, при якому відбувається руйнування відрізка подрібнюваної деревини.

Отже, з пункту 2.1 можна зробити такі висновки:

1. Дослідженнями встановлено: що молотковий робочий орган забезпечує руйнування відрізків деревини вільним ударом, при цьому визначальним фактором процесу руйнування є критична швидкість удару.

2. Значення контактної сили, що виникає при ударі молотка по відрізу деревини, що подрібнюється, залежать від швидкості молотка, геометричних і масових розмірів молотка і відрізків деревини, фізико-механічних властивостей деревини, що визначаються напрямом прикладеної сили.

3. Істотний вплив на значення критичної швидкості надає положення волокон подрібнюваного відрізка щодо бойка молотка в момент удару.

4. Удар уздовж волокон відрізка є кращим, так як значення критичної швидкості удару, необхідної для руйнування відрізка, значно менше ніж при ударі поперек волокон. Зокрема, для відрізків, що подрібнюються довжиною $l = 200$ мм і діаметром $d = 50$ мм (сосна), при ударі вздовж волокон критична швидкість удару дорівнює $V_{kp} = 32$ м/с, при ударі поперек волокон $V_{kp} = 61$ м/с.

5. При ударі вздовж волокон подрібнюваних відрізків порода подрібнюваної деревини не істотно впливає на значення критичної швидкості. Зокрема, для відрізків, що мають однакові розміри, значення критичної швидкості становить: сосна – $V_{кр} = 32$ м/с, осина – $V_{кр} = 31$ м/с, береза – $V_{кр} = 33$ м/с. При ударі поперек волокон є значний вплив породи подрібнюваних відрізків на значення критичної швидкості.

2.2 Експериментальні установки та характеристика подрібнюваного матеріалу

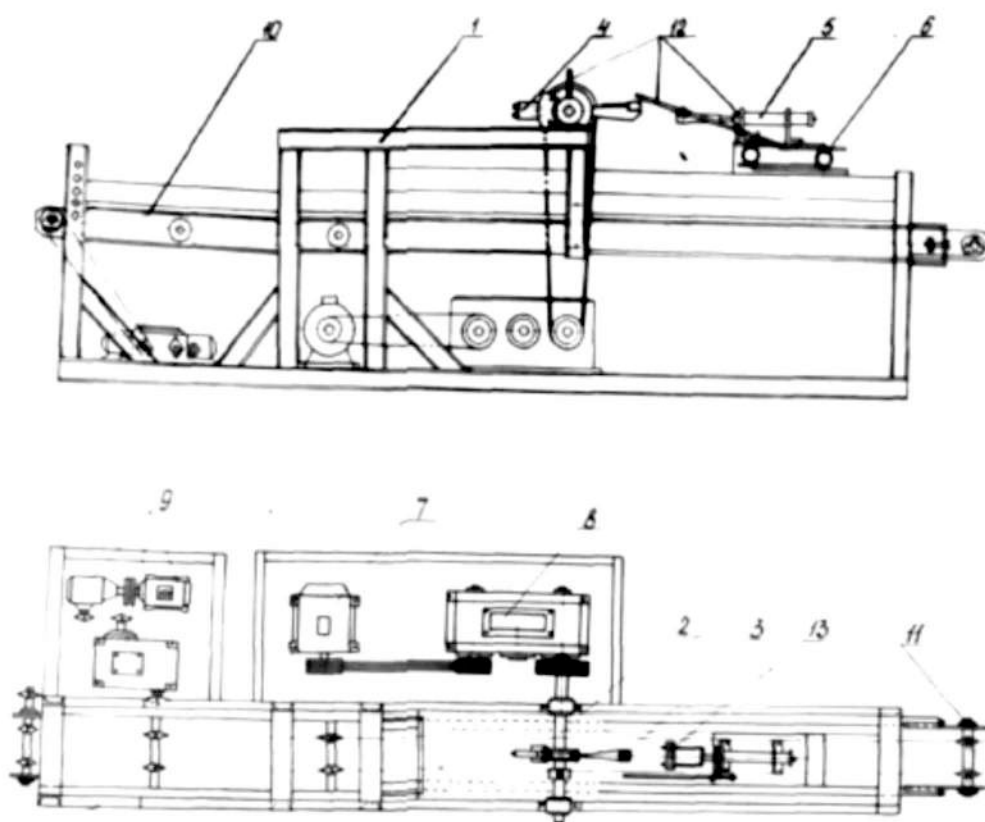
Під час проведення лабораторних досліджень подрібнювалися деревні відходи хвойних (ялина, сосна) та листяних (береза, осика) порід дерев, що є найбільш цінною і характерною сировиною для виробництва хвойно-вітамінного та кормового борошна [1].

Перед проведенням експериментів здійснювалося попереднє подрібнення деревних відходів на вальцевій дробарці. При цьому визначався діаметр і довжина маломірних відрізків, що одержуються, а також вологість подрібнюваної маси. Вологість деревних відходів під час експериментів відповідала вологості свіжозрубленої деревини: хвойні $W = 60-64\%$, листяні $W = 70-80\%$.

Лабораторна установка І призначена для визначення критичної швидкості удару молоткового робочого органу при різних видах зіткнення та геометричних розмірах відрізків деревини (рис. 2.9).

Установка складається з рами 1, ротора 2 з одиничним тензомо-лотком 3 і противагою 4, що подає пристрою 5, встановленого на каретці 6, приводу обертання ротора, що включає електродвигун 7 ($N = 20$ кВт, $n = 980$ хв⁻¹) і варіатор 8 ($N = 20$ кВт) приводу переміщення каретки 9, що складається з електродвигуна ($N = 6$ кВт, $N = 1200$ хв⁻¹), варіатора ($N = 6$ кВт), редуктора ($N = 8$ кВт), привідний ланцюг 10, який здійснює переміщення каретки з подавальним пристроєм 5, забезпечена механізмом натягу П.

Для забезпечення зіткнення молотка та відрізка подрібнюваної деревини 13 у певній точці бойка, що подає пристрій 5 та ротор 2 забезпечені механізмом синхронізації 12 обертання молотка та подачі відрізка деревини в зону удару.



1 – рама; 2 – ротор; 3 – тензомолоток; 4 – противага; 5 – пристрій, що подає; 6 – каретка; 7 – електродвигун; 8 – варіатор; 9 – привід переміщення каретки; 10 – ланцюг; 11 – механізм натягу; 12 – синхронізуючий пристрій; 13 – відрізок деревини

Рисунок 2.9 – Схема лабораторної установки I для визначення критичної швидкості удару

Технічна характеристика експериментальної установки I:

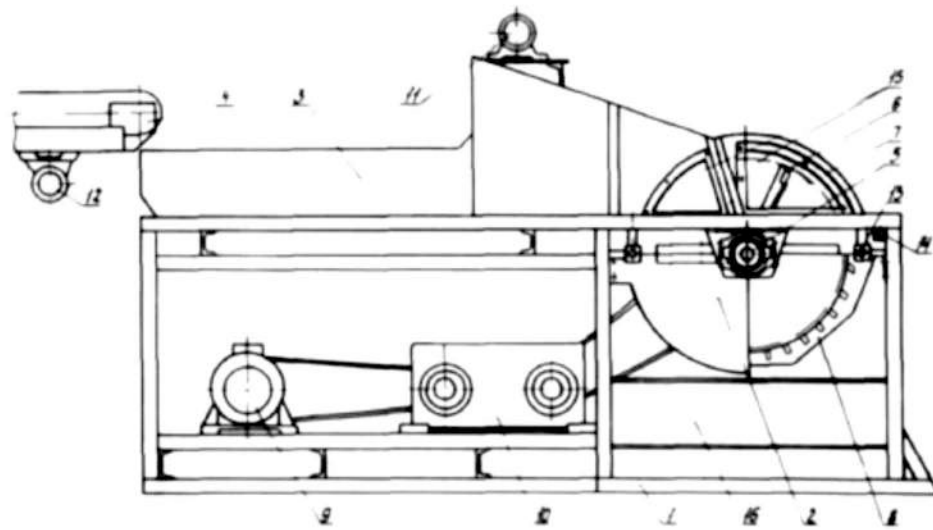
- частота обертання ротора, хв – 700-2800;
- швидкість переміщення каретки, м/с – 0,05;

розміри відрізків, що подрібнюються:

- довжина, мм – 100-300;
- діаметр, мм – 10-50.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Лабораторна установка II призначена для дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки на основні показники її роботи.



1 – рама; 2 – молоткова дробарка; 3, 4 – що подають транспортери; 5 – ротор молоткової дробарки; 6 – молотки; 7 – глуха дека; 8 – сепаруюча дека; 9 – електродвигун; 10 – варіатор; 11, 12 – електродвигуни; 13 – регулюючі підвіски; 14 – вісь; 15 – вікна; 16 – відбірник проб

Рисунок 2.10 – Схема експериментальної установки для дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки на основні показники роботи

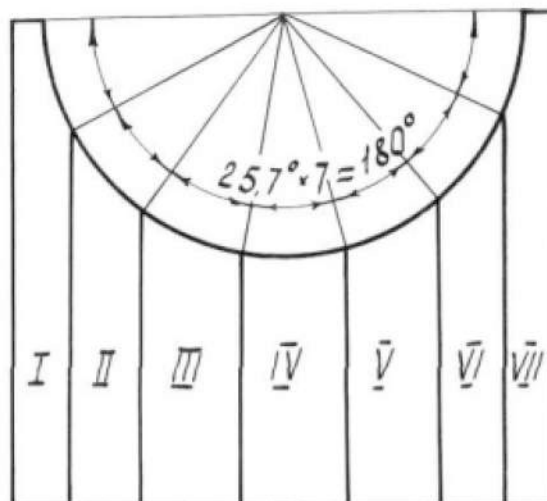


Рисунок 2.11 – Схема відбірника проб

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Експериментальна установка II (рис. 2.10) складається з рами 1, на якій встановлена досліджувана молоткова дробарка 2 і двоє транспортерів 3 і 4 що подають, загальною довжиною 15 м. Молоткова дробарка включає в себе ротор 5 з шарнірно підвішеними молотками 6, верхню глуху деку 7, сепаруючу деку 8. Привід обертання ротора складається з електродвигуна 9 ($N = 35$ кВт, $n = 750$ хв⁻¹) та ланцюгового варіатора 10 з передавальним числом $i = 4$ ($N = 35$ кВт). Привід обертання транспортерів здійснюється через ланцюгову та ремневу передачі двома електродвигунами 11 і 12 ($N = 3,5$ кВт, $n = 1400$ хв⁻¹), швидкість руху полотна транспортерів $V_{mp} = 0,75$ м/с. Дека, що сепарує підвішується до рами молоткової дробарки I на спеціальних регулюючих підвісках 13, які дозволяють переміщати її в горизонтальному та вертикальному напрямках, чим і досягається зміна проміжку між кінцями молотків і сепаруючою декою. Глуха дека встановлюється на рамі за допомогою осі 14, що дозволяє міняти деки, що мають різну форму поверхні. Для проведення швидкісної кінозйомки з метою вивчення процесів, що відбуваються при подрібненні деревних відходів, у боковинах камери молоткової дробарки вирізані вікна 15, нижній металічний кожух замінюється кожухом з оргскла. Для визначення пропускної спроможності молоткової дробарки і гранулометричного складу подрібненої маси в режимі, що встановився, на рамі 1 укріплений відбірник 16, що представляє собою ящик з висувним дном і кришкою. Просіювання деки по довжині визначалися за допомогою спеціального відбірника, що складається з семи секцій (рис. 2.11).

Технічна характеристика експериментальної установки II:

- частота обертання ротора – 800-2000 хв⁻¹;
- діаметр ротора (по кінцях молотків) – 605 мм;
- довжина ротора – 550 мм;
- проміжок між кінцями молотків та поверхнею сепаруючої деки – 10-40 мм;
- кількість молотків – 14 шт;
- довжина транспортерів, що подають – 15 м;
- швидкість руху стрічки транспортерів – 0,75 м/с.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки на її пропускну здатність, енергоємність та якість процесу подрібнення

З апіорної інформації та попередніх експериментів встановлено, що найбільш суттєво на показники роботи молоткової дробарки впливають такі незалежні фактори: окружна швидкість молотків: V_m м/с, величина подачі подрібнюваного матеріалу q кг/с, форма поверхні та розміри глухої та сепаруючої деки, проміжок між кінцями молотків і поверхнею сепаруючої деки S мм.

Пропускна здатність деки визначає продуктивність молоткової дробарки. З апіорної інформації, встановлено, що найбільш ефективно працюють деки, що мають максимальний живий переріз і володіють затримувальною здатністю. Попереднім експериментом було встановлено, що повністю задовольняє ці потреби сепаруюча дека, виготовлена з протирізів і прутків, які утворюють між собою прямокутні отвори []. Тому експерименти проводилися на деці з квадратними отворами 40×40 мм з живим перетином $F = 0,60$.

3.2 Методика дослідження впливу окружної швидкості молотків на роботу сепаруючої деки

Метою справжніх експериментальних досліджень було визначення впливу окружної швидкості молотків на швидкість повітряного потоку в решітному просторі сепаруючої деки.

При проведенні даних експериментів дека молоткової дробарки розбивалася на 7 ділянок по довжині та 3 частини по ширині. З метою виключення крайових ефектів вимірювання швидкості повітряного потоку проводилося на середньому по ширині ділянці деки. Швидкість повітряного потоку замірялася за допомогою

ручного анемометра на холостому ходу молоткової дробарки. Окружна швидкість молотків варіювалася на трьох рівнях: 40 м/с, 50 м/с, 60 м/с.

Для визначення інтенсивності просівання на раму молоткової дробарки кріпився спеціальний відбірник проб, що складається з 7 секцій (рис. 2.11). Інтенсивність просівання на кожній ділянці та просіваності по довжині деки в кожному експерименті визначалися за формулами.. При цьому також визначався грануло-метричний склад подрібненої тріски.

Дослідження проводилися на лабораторній установці П при наступних значеннях постійних факторів: подача подрібнюваної маси $q = 1,5$ кг/с, проміжок $S = 25$ мм, кут охоплення деки $L = 180^\circ$, вологість деревини $W = 64\%$ (ялина), $W = 80\%$ (береза).

3.3 Методика дослідження впливу кута охоплення деки на пропускну здатність деки, енергоємність та якість подрібнення

Експерименти проводилися на сепаруючій деці, описаній у п. 2.3. Кут охоплення деки змінювався спеціальними пластинами, що перекривають отвори деки та варіювався на рівнях $L = 120-180^\circ$ з шагом $\Delta L = 10^\circ$. Дослідження проводилися за постійних значень наступних параметрів: окружна швидкість молотків $V_m = 50$ м/с, подача матеріалу $q = 1,5$ кг/с, проміжок $S = 25$ мм, глуха дека – рифлена з протирізами. При проведенні даного експерименту записувалося значення потужності, витраченої на подрібнення, визначалася пропускну здатність дробарки та якість подрібненого матеріалу. Досліди проводилися з триразовою повторністю.

3.4 Методика дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки на основні показники роботи

При виконанні даного дослідження використаний метод планування багатофакторного експерименту. Аналіз літературних джерел показав, що у

більшості випадків основні показники роботи молоткових дробарок у загальному випадку описуються математичними моделями другого порядку, що мають вигляд

$$y = b_o + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j. \quad (3.1)$$

Для математичного опису процесу подрібнення деревних відходів за допомогою рівнянь другого порядку (3.1) необхідно застосовувати плани експериментів, у яких кожен чинник можна варіювати не менше, ніж на трьох рівнях, при цьому повинна виконуватися умова отримання роздільних оцінок всіх коефіцієнтів рівняння за результатами експерименту. Вибір плану експерименту істотно залежить від конкретних особливостей досліджуваного процесу, тому визначення кількості та умов проведення експериментів склав завдання планування експерименту.

При дослідженні впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки, як основні параметри, що характеризують процес подрібнення деревних відходів, обрані: коефіцієнт необхідної фракції $K_{mf} - y_1$; пропускна здатність молоткової дробарки Q , т/год – y_2 ; потужність, витрачена на подрібнення $N_{др}$ кВт – y_3 ; енергоємність процесу з урахуванням досягнутої якості подрібнення E кВт·год/т – $y_{об}$.

З інформації та попередніх експериментів встановлено, що найбільш істотно на основні показники технологічного процесу впливають такі незалежні фактори: окружна швидкість молотків V_m м/с – x_1 ; подача матеріалу, q кг/с – x_2 проміжок між кінцями молотків і сепаруючою декою, S мм – x_3 ; форма поверхні глухої деки, K_d – x_4 .

В якості математичної залежності, що відображає вплив досліджуваних факторів на технологічний процес подрібнення деревних відходів, була прийнята наступна модель:

$$y_i = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_1 x_2 + b_6 x_1 x_3 + b_7 x_1 x_4 + b_8 x_2 x_3 + b_9 x_2 x_4 + b_{10} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{12} x_2^2 + b_{13} x_3^2 + b_{14} x_4^2$$

Основною умовою при виборі плану експерименту було отримання найбільш точних, незалежних коефіцієнтів рівняння регресії. Найбільш повно поставлену мету задовольняє близький до D – оптимальний план для чотирьох факторів Бокса – B_4 , матриця якого в кодованих і натуральних значеннях змінних. Відповідно до прийнятого плану, кожен фактор варіювався на трьох рівнях. Число повторів експериментів визначалося заданою надійністю результатів досліду $L = 0,95$ і припустимою помилкою $E = 3 \cdot \sigma$ дорівнює трьом. Фактори та рівні їх варіювання наведені в табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Фактори x_i і рівні X їх варіювання

Фактори Рівні факторів	Окружна швидкість молотків, V_m м/с (X_1)	Подача матеріалу, q кг/с (X_2)	Проміжок між кінцями молотків і сепаруючою декою, S мм (X_3)	Форма поверхні деки, $K\delta$ (X_4)
Основний рівень, X_{j0}	50	1,5	25	Рифленна 0
Інтервал варіювання, ΔX_i	10	0,5	10	I
Верхній рівень, $X_i = +I$	60	2,0	35	+I рифленна з противорізами
Нижній рівень, $X_i = -I$	40	1,0	35	-I гладка

Область варіювання фактора X_1 вибиралася на підставі рекомендацій теоретичної частини (див. п. 2.1.1, 2.1.2), результатів досліджень щодо визначення критичної швидкості та з апіорної інформації (див. р. I). Верхній рівень фактора X_1 відповідав окружній швидкості молотків $V_m = 60$ м/с, нижній – $V_m = 40$ м/с. Крім того, попередніми експериментами було встановлено, що при зменшенні швидкості молотків $V_m < 40$ м/с різко погіршується якість подрібненого матеріалу та при великих подачах маси ($q > 1,5$ кг/с) відбувається завал молоткової дробарки. Перевищення швидкості молотків $V_m = 60$ м/с викликає підвищену витрату потужності створення повітряного потоку, не має істотного впливу на пропускну здатність молоткової дробарки, крім того при цьому потрібні додаткові витрати на балансування ротора.

Нижній та верхній рівні варіювання фактора X_2 обрані відповідно до реальних умов експлуатації молоткової дробарки та визначаються продуктивністю вальцевої дробарки.

Області варіювання факторів X_3 і X_4 обрані на підставі аналізу апріорної інформації та попередніх експериментів.

Експерименти проводилися на деревних відходах хвойних (ялина, сосна) та листяних (береза, осика) порід дерев. Перед проведенням експериментів заготовлені деревні відходи подрібнювалися на вальцевій дробарці. Вологість деревини та гранулометричний склад подрібнюваних маломірних відрізків для всіх експериментів були однакові. При проведенні досліджень вимірювалася продуктивність дробарки, потужність, що витрачається на подрібнення, і визначалася якість подрібненого матеріалу. Експеримент проводився на лабораторній установці II. Величина подачі маси в дробарку визначалася вагою маси, що припадає на одиницю довжини транспортера. Окружна швидкість молотків змінювалася ланцюговим варіантом. Проміжок між кінцями молотків і сепаруючою декою регулювався за допомогою спеціальних підвісок. Для проведення експериментів було виготовлено 3 конструкції деки – гладка, рифлена і рифлена з протирізами.

Згідно з планом проведення експериментів B_4 для кожного виду, деревних відходів було реалізовано 24 досліди з триразової повторності.

Вимірювання досліджуваних величин у всіх експериментах проводилося при установленому режимі роботи молоткової дробарки.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Експериментальне визначення критичної швидкості удару молотка

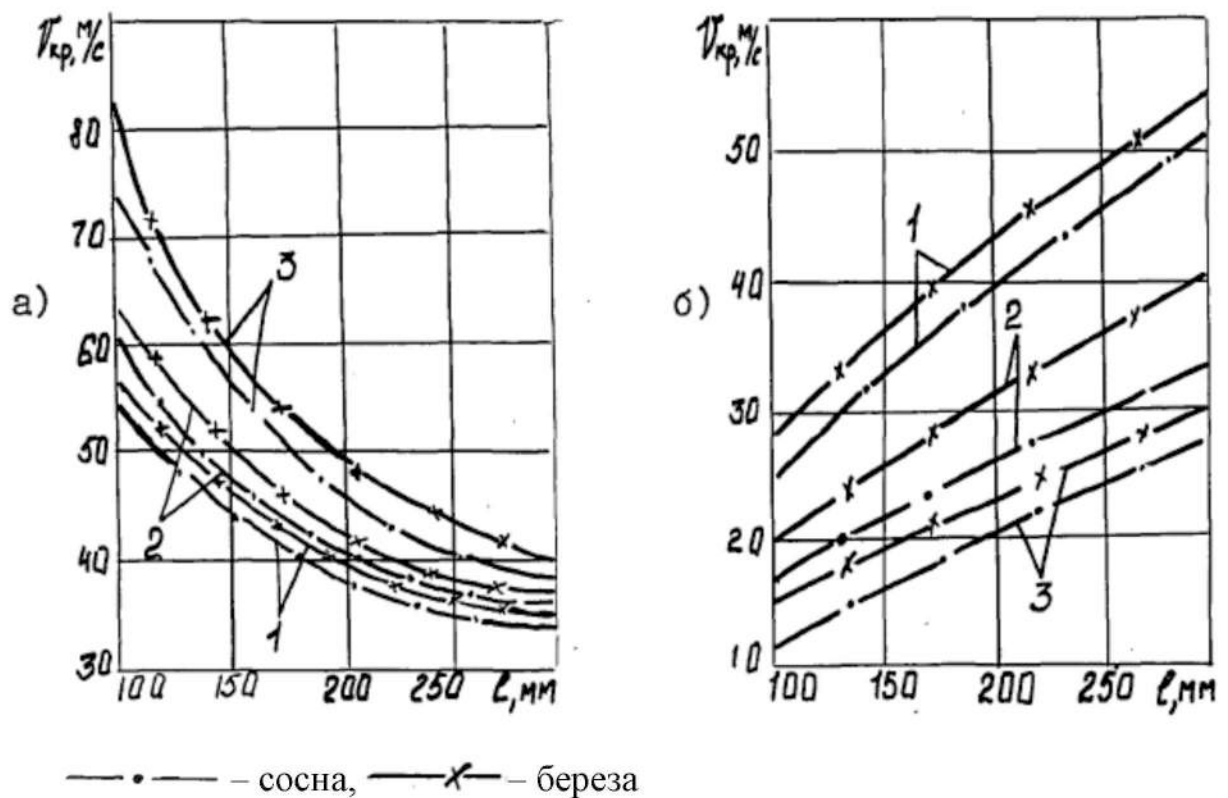
Експеримент, проведений в лабораторних умовах з використанням деревних відрізків різних порід (сосна, осика, береза) і розмірів, підтвердив висновки теоретичної частини про можливість руйнування відрізків деревини вільним ударом як вздовж, так і впоперек волокон. Основні результати експерименту наведено на рис. 4.1 (а, б).

Аналізуючи графіки залежності критичної швидкості удару від розмірів відрізків, що руйнуються, можна зробити висновок, що значення критичної швидкості істотно залежить від положення волокон відрізка щодо бойка в момент удару. При ударі вздовж волокон відрізка (сосна) максимальне значення критичної швидкості $V_{кр} = 51$ м/с спостерігалось при довжині відрізка $l = 300$ мм і діаметрі $d = 10$ мм, а при ударі поперек волокон – $V_{кр} = 81$ м/с при $l = 100$ мм та $d = 50$ мм.

З графіків (рис. 4.1) видно, що при ударі вздовж волокон зі збільшенням діаметра і зменшенням довжини відрізка, значення критичної швидкості зменшується. Це, на нашу думку, пояснюється тим, що при ударі вздовж волокон зі збільшенням діаметра – збільшується інерційність відрізка, а зі зменшенням довжини – покращуються умови руйнування відрізка розколюванням.

При ударі молотка упоперек волокон відрізка спостерігається інша залежність. Зі збільшенням довжини та зменшенням діаметра відрізків, значення критичної швидкості зменшується. Це пояснюється тим, що при руйнуванні тонких ($d = 10-20$ мм) і довгих ($l = 250-300$ мм) відрізків деревини, характер їх руйнації аналогічний руйнації стеблових кормів поперечним ударом і, в основному, відбувається за рахунок вигину.

Зі зменшенням довжини відрізка зменшується його інерційність – значення критичної швидкості різко зростає.



а) удар упоперек волокон; б) удар вздовж волокон

Рисунок 4.1 – Експериментальні залежності критичної швидкості удару від розмірів відрізків деревини, що подрібнюються

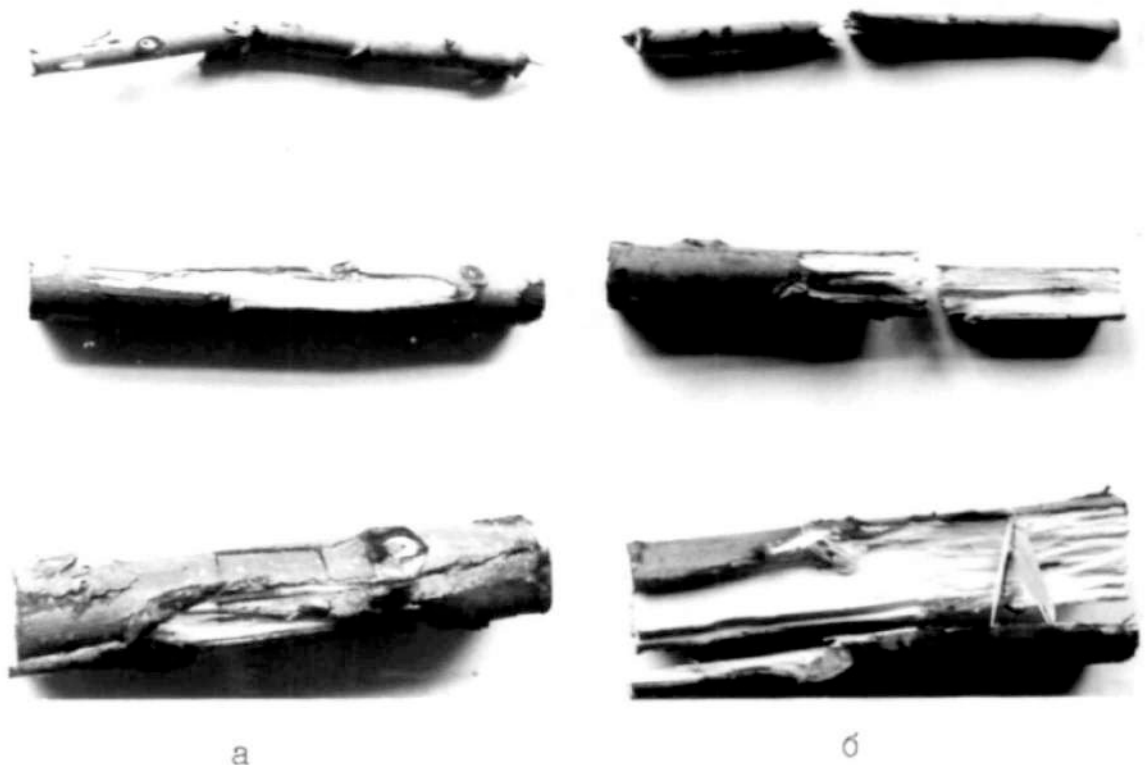
Паралельно з визначенням виду зруйнованих відрізків при проведенні даних експериментів фіксувалася сила удару з метою визначення напруг в момент руйнування відрізків. Встановлено, що руйнація відрізків сосни, осики та берези відбувається при: удар уздовж волокон – $\sigma = 35 \cdot 10^2 \dots 60 \cdot 10^2$ кПа, удар поперек волокон – $\sigma = 44 \cdot 10^3 \dots 60 \cdot 10^3$ кПа.

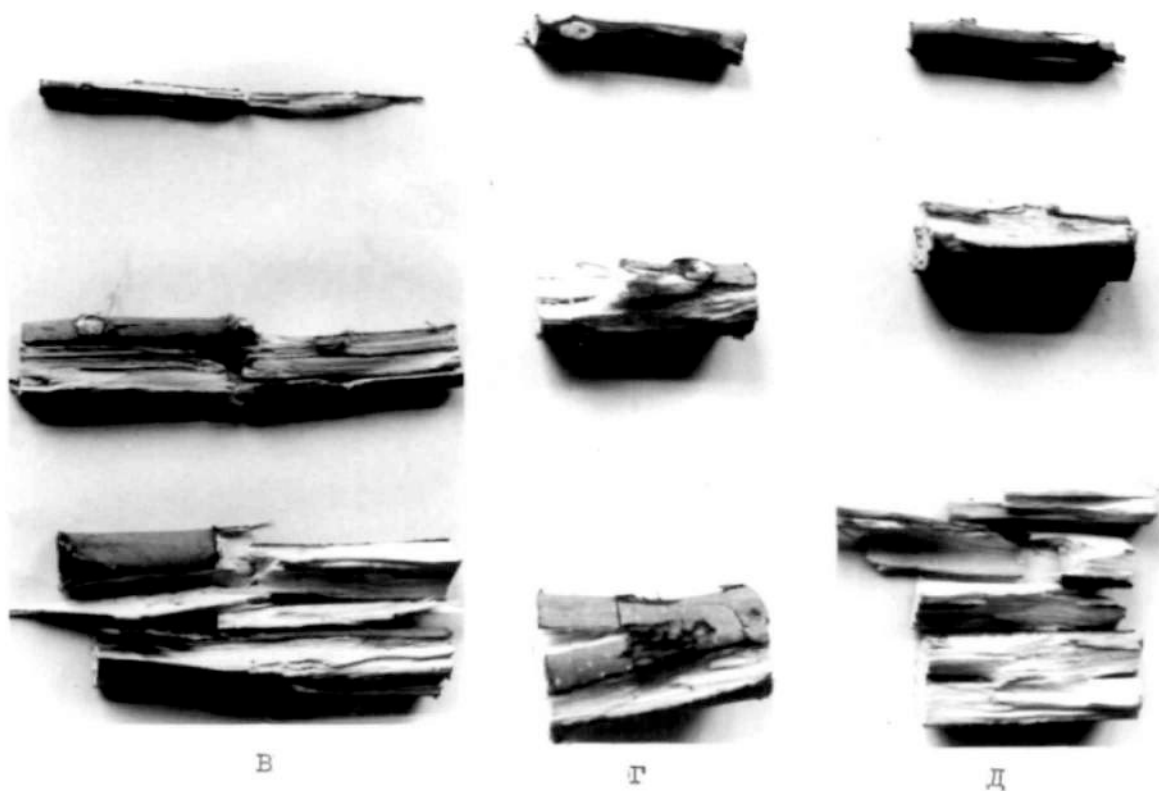
З графіків (рис. 4.1 а, б) визначаємо, що залежності, побудовані за результатами експериментальних і теоретичних досліджень, критичної швидкості удару від розмірів подрібнюваних відрізків розходяться в межах 8-17 %, при ударі поперек волокон для відрізків довжиною $l = 100$ мм і діаметром $d = 50$ мм розбіжність склала 25-30%. Розбіжність значень пояснюється прийнятими припущеннями під час виведення аналітичних залежностей. Крім того, при виведенні аналітичних залежностей не враховується, що деревні відходи попередньо подрібнюються на вальцевій дробарці і отримані відрізки деревини

мають ряд дефектів (сучки, надколи і так далі) і тріщин, що полегшує їх подальше руйнування при ударі молота.

При плануванні експериментів з дослідження впливу основних параметрів технологічного процесу подрібнення деревних відходів на енергоємність, якість подрібнення і пропускну здатність молоткової дробарки, встановлюючи область варіювання факторами (окружна швидкість молотків) необхідно враховувати дані, отримані при визначенні критичної швидкості удару.

Дослідження показали, що при завантаженні подрібнюваної маси в молоткову дробарку, відрізки подрібнюваної деревини в основному розташовуються вертикально, тобто удар молотків відбувається вздовж волокон. Однак, ми приймаємо положення відрізків в момент удару рівномірним і виходячи з результатів досліджень, щодо визначення критичної швидкості і гранулометричного складу вихідної подрібнюваної маси (рис. 3.1, відрізки довжиною $l = 120-160$ мм і діаметром $d = 25-40$ мм – становлять понад п'ятдесят відсотків всієї маси) верхній рівень варіювання окружної швидкості встановлюємо рівним $V_m = 60$ м/с.

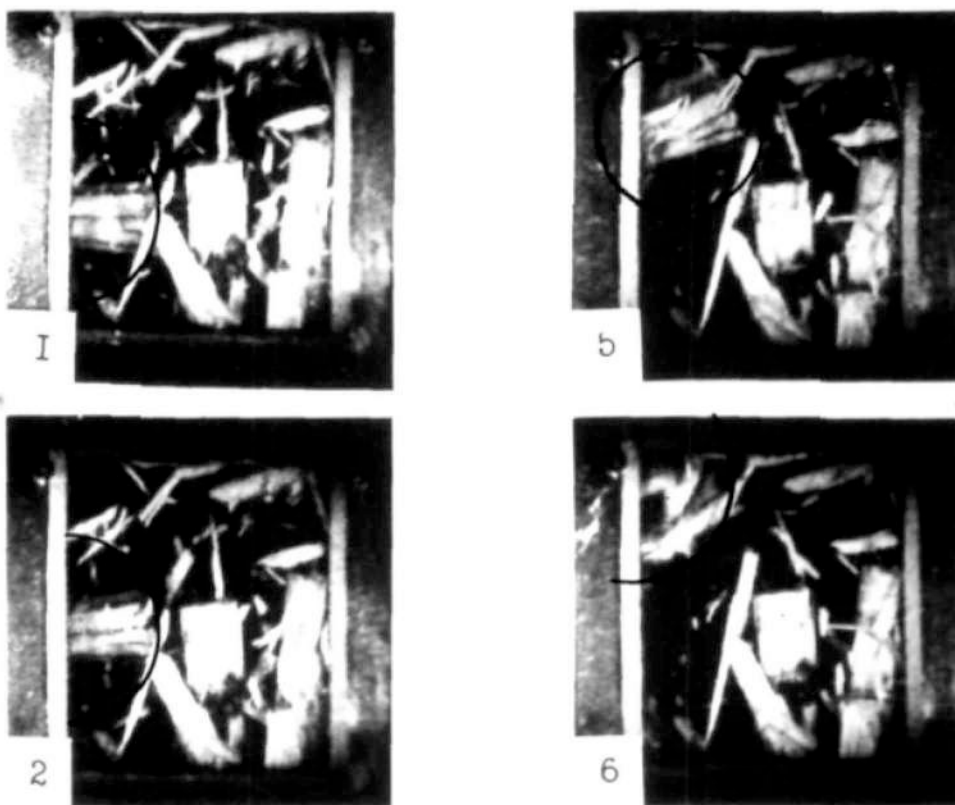




а) $v = 30$ м/с, б) $v = 40$ м/с, в) $v = 50$ м/с, г) $v = 50$ м/с, д) $v = 60$ м/с

а, б, в – $l = 200$ мм, г, д – $l = 100$ мм

Рисунок 4.2 – Відрізки деревини, зруйновані ударом впоперек волокон



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.133ГМмз_21.04.000 ПЗ

Аркуш

45

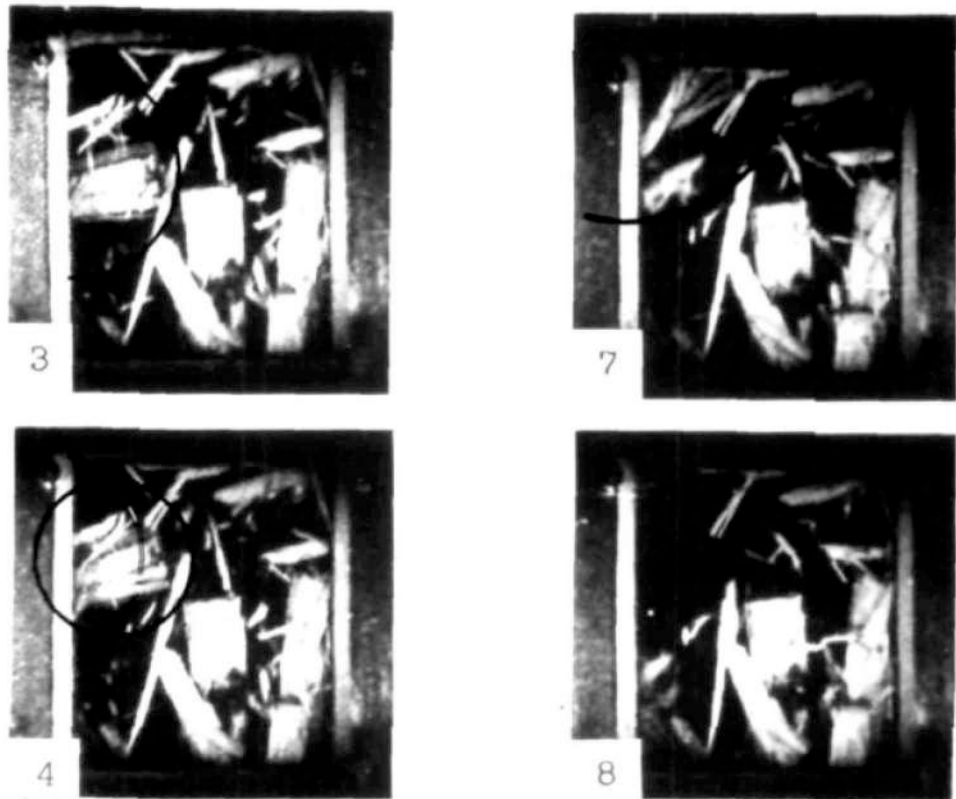


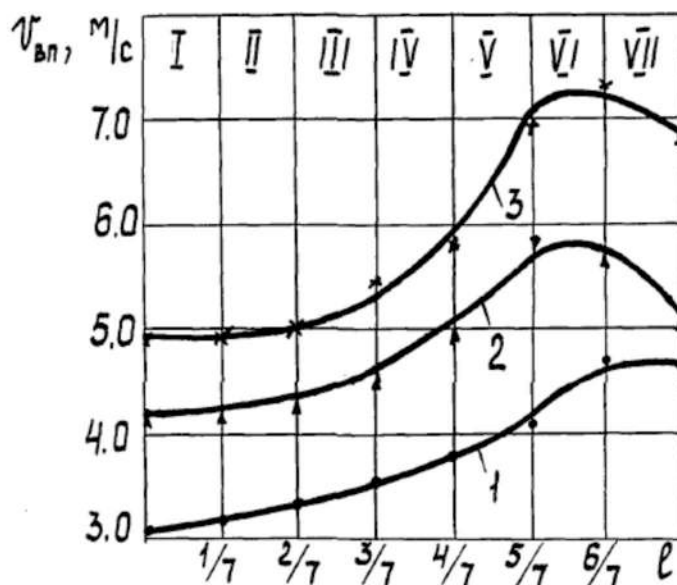
Рисунок 4.3 – Кінограма руйнування відрізка подрібненої деревини ударом впоперек волокон в камері молоткової дробарки

4.2 Дослідження впливу параметрів деки на основні показники роботи молоткової дробарки

Дослідження проводилися згідно з методикою проведення експериментів, викладеною в пункті 3.2 на деревних відходах листяних і хвойних порід. За даними, отриманими в результаті проведених експериментів, побудовано графіки залежності швидкості повітряного потоку в зарешітному просторі, інтенсивності сепарації на кожній ділянці деки та просівання подрібнених деревних відходів по довжині деки.

Як видно з графіків (рис. 4.4) швидкість повітряного потоку в зарешітному просторі деки неоднакова по її довжині і зменшується від входу до виходу. Зменшення швидкості повітряного потоку на виході деки пояснюється тим, що кінець деки пов'язаний із завантажувальним вікном дробарки, в зоні розташування

якого радіальна складова швидкості повітряного потоку спрямована до центру обертання ротора []. На ділянках V, VI значення швидкості повітряного потоку максимальне, тому що в цій зоні радіальна складова спрямована від центру обертання ротора і перпендикулярна отворах деки.



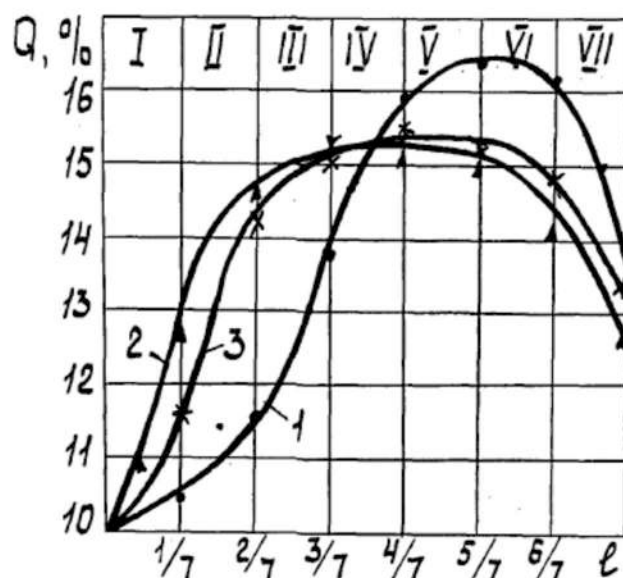
1 – $V_m = 40$ м/с; 2 – $V_m = 50$ м/с; 3 – $V_m = 60$ м/с.

Рисунок 4.4 – Швидкість повітряного потоку в зарешітному просторі деки
Дослідження сепаруючої здатності деки на кожній із ділянок показали, що інтенсивність просівання також нерівномірна, як і швидкість повітряного потоку (рис.3.3).

Максимальна інтенсивність спостерігається на тих же ділянках деки, де значення швидкості повітряного потоку в зарешітному просторі найбільше. Крім того, як видно з графіків зі збільшенням окружної швидкості молотків інтенсивність просівання деки на 3-6 ділянках стає більш рівномірною. При визначенні гранулометричного складу подрібненої маси, що просепарувалися, на кожній з семи ділянок деки встановлено, що на 1 ділянці 50% маси становить хвоя, подрібнене листя, кора, частинки довжиною менше 1 см, тобто на вході деки просіюються частинки, мають мінімальний розмір.

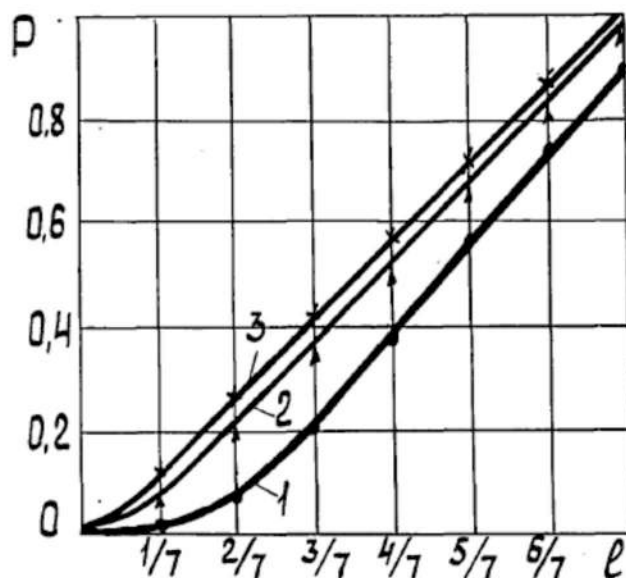
При дослідженні впливу окружної швидкості молотків на просівання подрібнених деревних відходів по довжині деки встановлено, що збільшення окружної швидкості від 40 м/с до 50 м/с суттєво позначається на збільшенні

просіюваності. Подальше збільшення швидкості молотків від 50 м/с до 60 м/с істотного впливу на просівання не має, тоді як потужність, що витрачається на створення повітряного потоку при цьому зростає по кубічній залежності, отже зростає питома енергоємність всього процесу подрібнення.



1 – $V_m = 40$ м/с; 2 – $V_m = 50$ м/с; 3 – $V_m = 60$ м/с

Рисунок 4.5 – Інтенсивність просівання подрібнених деревних відходів

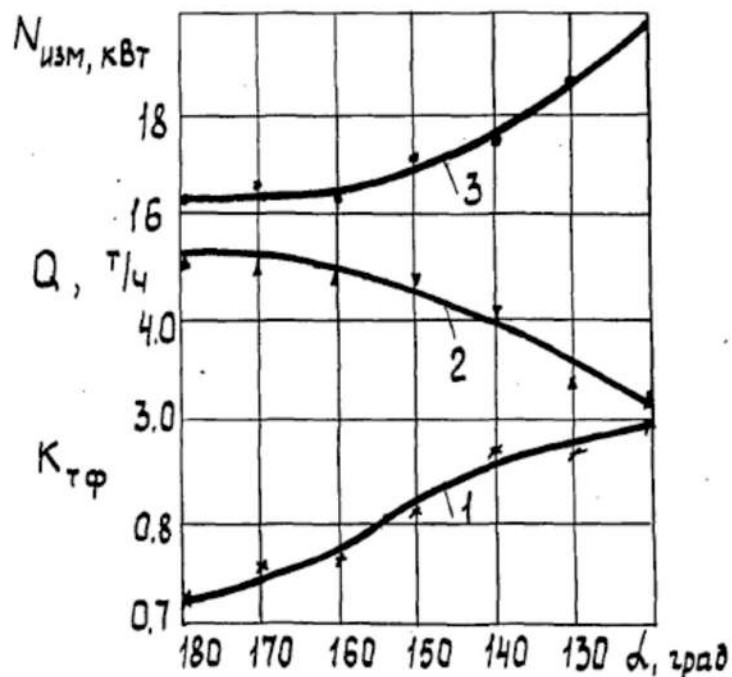


1 – $V_m = 40$ м/с; 2 – $V_m = 50$ м/с; 3 – $V_m = 60$ м/с

Рисунок 4.6 – Просівання подрібнених деревних відходів по довжині деки
Аналізуючи отримані залежності можна зробити такі висновки:

- ділянки сепаруючої деки 1, 7 з мінімальною інтенсивністю сепарації можуть бути замінені на глуху деку;
- збільшення окружної швидкості молотків більше ніж на 50 м/с не має істотного впливу на здатність деки, що сепарує.

Метою дослідження впливу кута охоплення сепаруючої деки на пропускну здатність деки, якість та енергоємність подрібнення було визначення оптимального кута охоплення сепаруючої деки. Експерименти та обробка отриманих даних (табл. 1 додатка) проводилася згідно з методикою, викладеною в пункті 3.3. За результатами досліджень побудовані графіки залежності коефіцієнта необхідної фракції, потужності, витраченої на подрібнення та пропускної спроможності деки від величини кута охоплення сепаруючої деки (рис. 4.5).



1 – $K_{нф} = f(L)$; 2 – $Q = f(L)$; 3 – $N_{ндр} = f(L)$.

Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта необхідної фракції $K_{нф}$, потужності, витраченої на подрібнення $N_{ндр}$, пропускної здатності деки Q від кута охоплення сепаруючої деки L

Як видно із графіків, зі зменшенням кута охоплення сепаруючої деки і збільшенням поверхні глухої деки, пропускна спроможність деки молоткової дробарки падає, отже, товщина повітряно-продуктового шару всередині камери

дроблення збільшується (при постійній подачі), що призводить до зростання потужності, що витрачається на переміщення шару.

Проведений однофакторний дисперсійний аналіз отриманих даних (див. табл.6 додатка) показав, що зі зменшенням кута охопту сепаруючої деки більш, ніж на 40° значно зменшується продуктивність молоткової дробарки і збільшується потужність, що витрачається на подрібнення. Якість подрібнених деревних відходів значно покращується при зменшенні кута охоплення сепаруючої деки від 180° до 150° . Виходячи з умови отримання максимальної продуктивності при мінімальних енергозатратах кут охоплення сепаруючої деки необхідно вибирати в межах 140 градусів.

4.3 Експериментальне визначення впливу технологічних та конструктивних параметрів молоткової дробарки на основні показники роботи

У таблицях 4.1 представлені отримані під час проведення лабораторних досліджень середні експериментальні значення залежності якості подрібнення ($\bar{Y}_{1ек}^л, \bar{Y}_{1ек}^{хв,}$) пропускної здатності молоткової дробарки ($\bar{Y}_{2ек}^л, \bar{Y}_{2ек}^{хв,}$), потужності, витраченої на подрібнення деревних відходів ($\bar{Y}_{3ек}^л, \bar{Y}_{3ек}^{хв,}$) і питомої енергоємності ($\bar{Y}_{об.ек}^л, \bar{Y}_{об.ек}^{хв,}$) процесу з урахуванням досягнутої якості подрібнення від досліджуваних факторів.

Аналіз оцінок дисперсій паралельних дослідів на однорідність проводився за критерієм Кохрена, який показав, що при вибраному рівні значущості $L = 0,05$, ступеня свободи чисельника $f_1 = 3$ і знаменника $f_2 = 24$, розрахункове значення G_p (табл. 4.1) менше критичного табличного значення $G_{кр} = 0,1907$, отже гіпотеза про однорідність справедлива [1].

Таблиця 4.1 – Розрахункові значення величин G_p та F_p

Статистичні оцінки	Досліджувані показники							
	y_1^{η}	y_1^{xe}	y_2^{η}	y_2^{xe}	y_3^{η}	y_3^{xe}	$y_{об}^{\eta}$	$y_{об}^{xe}$
G_p	0,052	0,087	0,109	0,102	0,113	0,107	0,103	0,101
F_p	1,96	1,01	0,4	0,53	2,39	2,27	2,14	2,09

Значимість знайдених коефіцієнтів рівнянь регресії визначалася за t-критерієм Стюдента. Після відсіву статистично незначних коефіцієнтів отримані наступні рівняння регресії, що описують залежність основних показників роботи молоткової дробарки від досліджуваних факторів:

- якість подрібнення деревних відходів (листяних та хвойних)

$$y_1^{\eta} = 0,8167 + 0,0933 \cdot X_1 - 0,0789 \cdot X_3 + 0,0639 \cdot X_4 - 0,0163 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0288 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0225 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,0325 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0668 \cdot X_3^2, \quad (4.1)$$

$$y_1^{xe} = 0,8351 + 0,0906 \cdot X_1 - 0,0706 \cdot X_3 + 0,0617 \cdot X_4 - 0,0156 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0244 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0269 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,0206 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0748 \cdot X_3^2 - 0,0248 \cdot X_4^2, \quad (4.2)$$

- пропускна здатність молоткової дробарки при подрібненні деревних відходів

$$y_2^{\eta} = 3,782 + 0,3590 \cdot X_1 + 0,528 \cdot X_2 - 0,508 \cdot X_3 + 0,491 \cdot X_4 + 0,158 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,139 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,256 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,284 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,159 \cdot X_3 \cdot X_4, \quad (4.3)$$

$$y_2^{xe} = 4,220 + 0,492 \cdot X_1 + 0,596 \cdot X_2 - 0,544 \cdot X_3 + 0,376 \cdot X_4 + 0,212 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,248 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,148 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,148 \cdot X_2 \cdot X_4, \quad (4.4)$$

- потужність, витрачена на подрібнення деревних відходів

$$y_3^{\eta} = 14,841 + 4,094 \cdot X_1 + 3,111 \cdot X_2 - 1,128 \cdot X_3 + 1,57 \cdot X_4 + 1,313 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,188 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,7 \cdot X_2 \cdot X_4 - 1,3 \cdot X_3 \cdot X_4 + 3,789 \cdot X_3^2, \quad (4.5)$$

$$y_3^{xe} = 13,318 + 3,206 \cdot X_1 + 2,544 \cdot X_2 - 1,617 \cdot X_3 + 0,978 \cdot X_4 + 1,725 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,4 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,363 \cdot X_2 \cdot X_4 + 3,229 \cdot X_3^2, \quad (4.6)$$

- питома енергоємність процесу подрібнення з урахуванням досягнутої якості

$$y_{об}^{\eta} = 4,07 - 0,624 \cdot X_1 + 1,802 \cdot X_3 - 1,184 \cdot X_4 - 0,822 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,77 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,579 \cdot X_2 \cdot X_4 - 1,323 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,936 \cdot X_1^2 + 1,949 \cdot X_3^2, \quad (4.7)$$

$$y_{об}^{xe} = 3,586 - 0,612 \cdot X_1 + 1,022 \cdot X_3 - 1,081 \cdot X_4 + 0,611 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,795 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,806 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,8 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,08 \cdot X_1^2 + 1,583 \cdot X_3^2. \quad (4.8)$$

З метою перевірки гіпотези про адекватність моделі другого порядку, проводився статистичний аналіз отриманих рівнянь регресії (4.1 – 4.8). Експериментальні значення F -критерію Фішера наведені в таблиці 4.1. Табличне значення F -критерію при $L = 0,05$ і відповідних числах ступенів свободи чисельника $f_1 = 10$ і знаменника $f_2 = 14$ дорівнює 2,51. Оскільки $F_{\text{експ}} < F_{\text{табл}}$ гіпотезу про адекватність описану рівняннями (4.1–4.8) результатів експериментів можна вважати вірною на 95%.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

В Україні виникають щорічно тисячі важких надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в наслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами обстановка характеризується як дуже складна.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність та планованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки [].

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах [].

Основними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;
- 1) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- 3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;
- 4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей;

6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

5.3 Економічна ефективність застосування молоткової дробарки

Вихідні дані для розрахунку техніко-економічної ефективності представлені в таблиці 5.1 [1]. Розрахунок техніко-економічної ефективності представлений в таблиці 5.2.

Прийнято, що порівнювані дробарки працювали однакову кількість часу на подрібненні одного виду зерна.

Економічний ефект від застосування нової машини обумовлений підвищенням її продуктивності, зниженням метало- та енергоємності, а також зниженням витрат на технічне обслуговування і ремонт по порівнянню з базовою при однаковій встановленій потужності електродвигунів.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку техніко-економічної ефективності застосування дробарки

Показники	Позначення	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Нова модель
1. Ціна оптова	C_o	грн.	125000	120000
2. Коефіцієнт перекладу оптової ціни до балансової, що враховує витрати на поставку, збірку і регулювання машин	m	-	1,2	
3. Річна нормативне навантаження	T	год.	1100	
4. Продуктивність	W	т/год.	2,5	3,5
5. Кількість обслуговуючого персоналу	L	люд.	1	
6. Годинна тарифна ставка	$Ч$	грн./год	40	

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	
7. Витрати на зберігання	Z_x	грн./год	0,15	
8. Встановлена потужність	N	кВт.	22	
9. Вартість електроенергії	C_z	грн./кВт·год.	2,3	
10. Норма амортизаційних відрахувань	a	%	11,1	
11. Норма відрахувань на ремонт і технічне обслуговування	K_p	%	3,0	1,0
12. Коефіцієнт готовності за оперативному часу	K_o	-	1	
13. Середня ціна ячменю	C_p	грн./т.	4500	

Розрахунок техніко-економічної ефективності застосування дробарки з «дека-решетом» представлено в табл. 4.2.

Річний економічний ефект за приведеними витратами визначається за формулою:

$$E_p = [I_B + E \cdot K_B] - (I_H + E \cdot K_H) \cdot W \cdot T \cdot K_o, \quad (5.1)$$

де I_B, I_H – прямі експлуатаційні витрати на одиницю продукції по базовій і новій машин;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (0,15);

K_B, K_H – питомі капіталовкладення, грн./т;

W – продуктивність нової машини, т/год;

T – річне навантаження, год;

K_o – коефіцієнт використання оперативного часу.

Річний економічний ефект від використання дробарки з «дека-решетом» складатиме:

$$E_p = [43,99 + 0,15 \cdot 54,55] - (30,45 + 0,15 \cdot 37,40) \cdot 3,5 \cdot 1100 \cdot 1 = 62033 \text{ грн.}$$

Термін окупності

$$T_{ок} = \frac{B}{C_r} = \frac{144000}{62033} = 2,3 \text{ роки.}$$

Енергетична оцінка дає можливість найбільш об'єктивно оцінити витрати сільськогосподарського виробництва в порівнянні з економічністю, яка істотно залежить від коливання ціноутворення і не дозволяє встановити рівень необхідних витрат енергії на подрібнення і технічний рівень розвитку технологій [].

У даній роботі для оцінки енергетичної ефективності робочого процесу дробарки зерна використовували методику, наведену в [].

Для порівняльної оцінки ефективності робочого процесу дробарки зерна використовували коефіцієнт енергетичних витрат:

$$K_e = \frac{E_{c.n.}}{E_{c.b.}}, \quad (5.2)$$

де $E_{c.n.}$ – сукупні витрати технологічного процесу, новою машиною, МДж / т;

$E_{c.b.}$ – базовий рівень сукупних витрат, МДж / т.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для розрахунку енергетичної ефективності дробарки зерна

Показники	Позначення	Числові значення варіантів	
		Базовий варіант	Новий варіант
Маса, кг	M	425	370
Продуктивність, т/год	Q_d	2,5	3,5
Встановлена потужність, кВт	$\sum N$	22	
Обслуговуючий персонал, чол.	C	1	
Добовий обсяг робіт, т	S	10	
Число днів роботи в році	$n_{дн}$	365	
Площа займана дробаркою, м	F	1,8	1,2

Сукупні витрати на технологічний процес в МДж/т визначалися за формулою:

$$E_c = E_n + \frac{E_{ж} + E_{об} + E_{пом}}{Q_d}, \quad (5.3)$$

де E_n – прямі витрати енергії, МДж/т;

$E_{ж}$ – витрати живої праці, МДж/год;

$E_{об}, E_{пом}$ – енергоємності обладнання та виробничого приміщення, МДж/год.

Прямі витрати енергії визначаються за формулою:

$$E_{\pi} = H_{\epsilon} + K_{\epsilon}, \quad (5.4)$$

Де H_{ϵ} – витрата електроенергії, кВт·год/т;

K_{ϵ} – коефіцієнт перекладу 1 кВт·год в 1 МДж, $K_{\epsilon} = 3,6$.

Витрата електроенергії при відсутності норм витрати визначається за формулою:

$$H_{\epsilon} = \frac{\sum N}{Q_{\text{д}}}. \quad (5.5)$$

Тоді прямі витрати енергії склали:

для базового варіанту

$$E_{\pi.б} = \frac{22}{2,5} \cdot 3,6 = 31,68 \text{ МДж/т};$$

для нового варіанту

$$E_{\pi.б} = \frac{22}{3,5} \cdot 3,6 = 22,63 \text{ МДж/т}.$$

Енерговитрати живого праці визначаються за формулою:

$$E_{\text{ж}} = n_{\text{ч}} \cdot \alpha_{\text{ж}}, \quad (5.6)$$

де $\alpha_{\text{ж}}$ – енергетичний еквівалент витрат живого праці, $\alpha_{\text{ж}} = 0,9$ МДж /чол·год.

Енерговитрати живого праці для базового і нового варіантів однакові і рівні:

$$E_{\text{ж}} = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ МДж/год}.$$

Енергоємність, що припадає на 1 годину роботи обладнання, розраховуємо за формулою:

$$E_{\text{об}} = \frac{\epsilon_{\text{об}}}{T_{\text{г}}}, \quad (5.7)$$

де $T_{\text{г}}$ – річне завантаження лінії, год:

$$T_{\text{г}} = \frac{S}{Q_{\text{д}}} \cdot n_{\text{дн}}. \quad (5.8)$$

Загальна енергоемність обладнання, МДж:

$$\epsilon_{OB} = \alpha_{OB} \cdot M, \quad (5.9)$$

де α_{OB} – енергетичний еквівалент обладнання, $\alpha_{OB} = 104$ МДж/т.

Енергоемність, яка припадає на 1 годину роботи обладнання:

для базового варіанту

$$E_{OB.B} = \frac{104 \cdot 0,425 \cdot 2,5}{10 \cdot 365} = 0,031 \text{ МДж/год};$$

для нового варіанту

$$E_{OB.B} = \frac{104 \cdot 0,37 \cdot 3,5}{10 \cdot 365} = 0,037 \text{ МДж/год}.$$

Енергоемність виробничих приміщень визначали за формулою:

$$E_{ПОМ} = \frac{\alpha_{ПОМ} \cdot F}{100 \cdot T_r}, \quad (5.10)$$

де $\alpha_{ПОМ}$ – енергетичний еквівалент приміщення, $\alpha_{ПОМ} = 5025$ МДж/м².

Енергоемність виробничих приміщень:

для базового варіанту

$$E_{OB.B} = \frac{5025 \cdot 1,8 \cdot 2,5}{100 \cdot 10 \cdot 365} = 0,062 \text{ МДж/год};$$

для нового варіанту

$$E_{OB.B} = \frac{5025 \cdot 1,2 \cdot 3,5}{100 \cdot 10 \cdot 365} = 0,058 \text{ МДж/год}.$$

Після підстановки отриманих значень в (4.3) визначали сукупні витрати:

для базового варіанту

$$E_{C.B} = 31,68 + \frac{0,9 \cdot 0,031 \cdot 0,062}{2,5} = 32,077 \text{ МДж/т};$$

для нового варіанту

$$E_{C.H} = 22,63 + \frac{0,9 \cdot 0,037 \cdot 0,058}{3,5} = 22,91 \text{ МДж/т}.$$

Коефіцієнт енергетичних витрат згідно (4.2)

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\epsilon} = \frac{22,91}{32,077} = 0,71.$$

Рівень інтенсифікації розраховували за формулою:

$$I = (1 - K_{\epsilon}) \cdot 100, \quad (5.11)$$

$$I = (1 - 0,71) \cdot 100 = 29\%.$$

Таким чином, розроблена молоткова дробарка має сукупні витрати енергії на 29% менше, ніж дробарка базового виробника, прийнята за базовий варіант.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання молоткової дробарки з шарнірно-закріпленими робочими органами як другий щабель у лініях для подрібнення деревних відходів дозволяє отримувати сировину для кормовиробництва необхідної якості.

2. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість руйнування деревних відрізків вільним ударом молотка. Зокрема, при руйнуванні деревних відрізків сосни завдовжки $l = 100-300$ мм і діаметром $d = 10-50$ мм значення критичної швидкості знаходиться в межах $27 \text{ м/с} < V_{кр} \leq 86 \text{ м/с}$.

3. Значення критичної швидкості удару залежить від положення волокон відрізка подрібнюваної деревини щодо битка молотка для відрізків $l = 100-300$ мм та діаметром $d = 10-50$ мм сосна значення критичної швидкості становить: при ударі вздовж волокон $27 \text{ м/с} < V_{кр} \leq 42 \text{ м/с}$; при ударі поперек волокон $47 \text{ м/с} < V_{кр} \leq 86 \text{ м/с}$.

4. Отримані залежності критичної швидкості удару від розмірів відрізків подрібнюваної деревини, дозволяють визначити розміри вихідного продукту, руйнування якого відбувається при мінімальних значеннях швидкості $l = 120-150$ мм.

5. Збільшення кута охоплення деки $L > 140^\circ$ не призводить до суттєвого поліпшення якісних показників процесу подрібнення та збільшення продуктивності дробарки.

6. Отримані експериментально-статистичні моделі, що описують залежність основних показників технологічного процесу подрібнення деревних відходів від досліджуваних факторів дозволили встановити, що найбільш істотний вплив мають: на якість подрібнення – окружна швидкість молотків V_m ; на пропускну здатність дробарки – величина подачі q і проміжок між кінцями молотків і поверхнею сепаруючої деки S ; на потужність, витрачену на подрібнення – окружна швидкість молотків V_m і подача подрібнюваного матеріалу q ; на питому енергоємність процесу з урахуванням досягнутої якості – проміжок між кінцями молотків і поверхнею сепаруючої деки S , конструкція глухої деки K_δ .

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено технологічні та конструктивні параметри молоткової дробарки, яка забезпечує подрібнення деревних відходів з мінімальною енергоємністю і необхідною якістю. Зокрема, для подрібнення відходів дерев хвойних порід довжиною $l = 80-240$ мм, діаметром $d = 15-50$ мм при заданій продуктивності $Q \geq 8$ т/год, потужності подрібнення $18 \text{ кВт} \leq N_{\text{ндр}} \leq 50 \text{ кВт}$, коефіцієнті потрібної фракції $0,9 \leq K_{\text{тф}} \leq 1$: $V_m = 49,2$ м/с, подача $q = 3,3$ кг/с, проміжок між кінцями молотків і поверхнею се паруючої деки $S = 23,4$ мм, конструкція глухої деки – рифлена з протирізами, кут охоплення деки $L = 140^\circ$.

8. Отримані результати досліджень, розроблені номограми для розрахунку параметрів молоткової дробарки, дозволили розробити принципово нову конструкцію молоткової дробарки, що відповідає сучасним вимогам. Відносна помилка значень параметрів, що характеризують процес подрібнення деревних відходів у молотковій дробарці, обчислена з використанням номограм та аналітичних залежностей, не перевищує 30 %.

9. Запропоновані в роботі аналітичні залежності визначення критичної швидкості удару та методи дослідження молоткової дробарки можуть бути використані при створенні молоткових дробарок для подрібнення будь-яких інших волокнистих матеріалів з урахуванням їх особливостей і проведених у зв'язку з цим додаткових досліджень.

					КРМ.133ГМмз_21.04.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		