

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

БЕЗПАЛОВ РУСЛАН ІГОРОВИЧ

УДК 664.726.002.51

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ
ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ**

Спеціальність 05.18.12-процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса-2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України та в Інституті механізації тваринництва Української академії аграрних наук

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Остапчук Микола Васильович,
Одеська національна академія харчових технологій,
професор кафедри технології зберігання зерна

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гладушняк Олександр Карпович,
Одеська національна академія харчових технологій,
завідуючий кафедрою технологічного обладнання харчових
виробництв

доктор технічних наук, професор
Дударєв Іван Романович,
Одеський державний аграрний університет, професор
кафедри механізації і автоматизації сільськогосподарського
виробництва

Провідна установа: Національний університет харчових технологій, кафедра
процесів і апаратів харчових виробництв та технології
консервування, Міністерство освіти і науки України, м.
Київ

Захист відбудеться “17” червня 2005 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.
Автореферат розісланий “12” травня 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Подрібнення рослинної стеблової сировини є необхідною технологічною операцією в переробній промисловості і широко використовується на комбикормових заводах та безпосередньо в сільськогосподарських підприємствах.

Існуючі подрібнювачі, серед яких найбільш ефективними є молоткові дробарки, створювались для умов крупнотоварних виробництв і мають відповідну продуктивність, масу, потужність, що робить економічно недоцільним їх використання на сучасному етапі розвитку кормовиробництва малої продуктивності.

Теорія подрібнення має багатовікову історію. Але загальновідомо, що складність процесу подрібнення обумовило відсутність єдиної теорії і потребує подальших досліджень з метою наукового обґрунтування нових технічних рішень. Особливо це стосується подрібнення рослинної стеблової сировини, порівняльної оцінки подрібнювачів, оптимізації їх характеристик, моделювання процесів тощо.

Подрібнювачі з робочими органами ударно-ріжучої дії є найбільш універсальними та малоенергоємними. Але в них для забезпечення умов різання використовуються додаткові протиріжучі елементи, які ускладнюють конструкцію порівняно з молотковими дробарками крихких продуктів та суттєво знижують експлуатаційну надійність. Таким чином удосконалення дробарки для кормів є актуальним.

Одним з напрямків розв'язання згаданих проблем є застосування в молотковому подрібнювачі попереднього ущільнення матеріалу, що створює необхідний підпір для ударного різання з ковзанням і таким чином знижує енерговитрати на процес.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з планом держбюджетних НДР Інституту механізації тваринництва Української академії аграрних наук “Розробити технологічні процеси і технологічне устаткування для приготування кормів, яке забезпечує реалізацію генетичного потенціалу тварин” (держреєстрація № 0197U001024), що входить до галузевої науково-технічної програми Української академії аграрних наук “Механізація сільського господарства та технічний сервіс”, та науково-дослідними роботами в ОНАХТ.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи - створення подрібнювачів стеблових кормів з молотковим барабаном та живильником гвинтового типу, що забезпечують підвищення ефективності подрібнення та відповідають сучасним вимогам кормовиробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- обґрунтувати та визначити найбільш доцільний спосіб подрібнення рослинної стеблової сировини, яка забезпечує зоотехнічні вимоги до подрібненої сировини зі зниженими затратами енергії;

- розробити конструкцію подрібнювача, який відповідає визначеному способу подрібнення;

- скласти математичну модель процесу подрібнення рослинної стеблової сировини в подрібнювачі молоткового типу з шарнірно закріпленими молотками-ножами, яка дозволить визначити всі необхідні характеристики подрібнювача;

- встановити залежності ефективності процесу подрібнення від конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача;

- узагальнити експериментальні дані і визначити конструктивно-технологічні параметри подрібнювача, які забезпечують найменші затрати на подрібнення і зоотехнічні вимоги до подрібнених стеблових кормів;

- розробити методику визначення відповідності моделі промисловим зразкам подрібнювачів стеблових кормів.

Об'єкт дослідження – процес подрібнення рослинної стеблової сировини.

Предмет дослідження – подрібнювач стеблових матеріалів, в якому відбувається одночасне ударне подрібнення та різання з ковзанням при забезпеченні необхідного протиріжучого підпору.

Методи дослідження – Аналітичне моделювання процесу подрібнення рослинної стеблової сировини проводилося з використанням методу аналізу розмірностей та базувалося на теорії подрібнення П.Р. Рітінгера.

Експериментальні дослідження виконували за загальноприйнятими методиками та передбачали використання математичного методу планування експерименту. Обробка та узагальнення вихідних даних здійснювались математико-статистичними методами на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні способу подрібнення стеблових кормів одночасним ударним подрібненням та різанням з ковзанням при забезпеченні необхідного протиріжучого підпору в молотковому робочому органі з шарнірно закріпленими молотками-ножами.

За результатами аналітичних і експериментальних досліджень в роботі уперше:

- аналітично обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність подрібнення рослинної стеблової сировини методом сполучення ударного подрібнення та різання з ковзанням;

- запропонована методика визначення затрат енергії на подрібнення рослинної стеблової сировини із врахуванням розщеплення стебел;

- визначено умови подібності, за якими можна здійснити перехід від фізичної моделі до математичної з наступним комп'ютерним моделюванням;

- отримано залежності енергоємності та якості подрібнення в подрібнювачі молоткового типу з шарнірно закріпленими молотками-ножами від конструктивних параметрів та режимів роботи подрібнювача;

- визначено конструктивно-технологічні параметри подрібнювача, що забезпечують більш високі техніко-економічні показники процесу подрібнення стеблових кормів;

- розроблено методику визначення подібності моделі промислового зразку подрібнювача стеблових кормів.

Практичне значення отриманих у дисертації результатів полягає в розробці нового більш ефективного подрібнювача з робочими органами молоткового типу з шарнірно закріпленими молотками-ножами та ущільненням стеблового корму в гвинтовому ущільнювачі, які придатні для використання в агропромисловості.

Розроблено та узгоджено в УкрНДПВТ технічне завдання на подрібнювач стеблових кормів молоткового типу з гвинтовим живильником-ущільнювачем ПСК-1,0.

Проведено виробничі випробування подрібнювача в Дослідному господарстві “Світанок” Запорізького району Запорізької області.

Новизна розробленої конструкції подрібнювача захищена патентом України № 33938.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні і доказовості наукових положень дисертації, пропозиціях по методиці експериментальних досліджень, проведенні дослідів, аналізі та узагальненні результатів досліджень, виступі з доповідями на конференціях, публікації одержаних результатів, впровадженні результатів дисертаційної роботи у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Матеріали основних положень дисертаційної роботи доповідались і одержали схвалення на щорічних науково-технічних конференціях у Одеській національній академії харчових технологій у 1999...2003 рр.; третій міжнародній науково-практичній конференції “ХЛЕБОПРОДУКТЫ-2000 Отрасль хлебопродуктов на пороге III тысячелетия” (м. Одеса, 2000 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Нові технології і технічні засоби механізації і електрифікації

сіськогосподарського виробництва”, яка відбулася в Інституті механізації тваринництва Української академії аграрних наук м. Запоріжжя в 2002 р.; науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів та магістрів Таврійської державної агротехнічної академії, яка відбулася в м. Мелітополі в 2003 р.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 7 робіт, у тому числі 3 у збірниках наукових праць, 3 у науково-практичних журналах та 1 патент.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 7 додатків (10 сторінок). Загальний обсяг дисертації складає 161 сторінка машинописного тексту, із них – 110 сторінок основного тексту, містить 69 рисунків (20 сторінок), 23 таблиці (11 сторінок), список використаних джерел з 139 найменувань (14 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, яка підкреслює її актуальність, наукову новизну і практичне значення; визначені об'єкт дослідження, сформульовано його мету і завдання.

У **першому розділі** показано, що подрібнення є поширеним технологічним процесом в харчовій та переробній промисловості. Існуючі подрібнювачі стеблових кормів вже не відповідають сучасним ринковим умовам через високі енерговитрати, недостатню якість подрібнення зелених стеблових кормів та значну продуктивність, що не відповідає вимогам дрібнотоварного виробництва. Для рослинної стеблової сировини найчастіше використовують комбіновані способи подрібнення з поєднанням удару, різання, розламування, розтирання, а також багатоступеневі конструкції. Різання є найменш енергоємним способом, але поширені конструкції на базі ножів та протирізів в експлуатації малонадійні.

Встановлено, що при виборі конструкції необхідно врахувати фізичні властивості подрібнюючого матеріалу: твердість, пружність, опори зсуву, зрізу, стиску, а також забезпечувати цілеспрямовану зміну цих характеристик сукупності стебел перед безпосереднім подрібненням за допомогою спеціального устрою. Існуючі теорії або гіпотези Кірпічова-Кіка, Афанасьєва-Рітінгера, Бонда, Ребіндера та інших, а також встановлені за їх допомогою основні математичні залежності, що описують процес подрібнення, досить важко використовувати для аналізу подрібнюючих машин. Відомі методи інженерного розрахунку подрібнювачів дійсні тільки для обраної конструкції, мають громіздкі аналітичні вирази з багатьма складно визначаємими коефіцієнтами. Встановлено, що ефективність подрібнення характеризується питомими витратами енергії та абсолютними і відносними оцінками розмірів подрібнених часток. Показано, що найбільш ефективним способом подрібнення рослинної стеблової сировини є поєднання удару й різання з ковзанням.

У зв'язку з цим сформульовано завдання досліджень по розробці конструкції подрібнювача, експериментальному визначенню залежностей між його основними параметрами, розробці методів аналізу та рекомендацій з проектування.

У **другому розділі** виконано аналітичне дослідження процесу подрібнення рослинної стеблової сировини в подрібнювачі молоткового типу.

Обґрунтовано та розроблено конструкцію подрібнювача, що дозволяє виконувати подрібнення стеблових кормів ударом у сполученні з різанням ковзанням за рахунок забезпечення необхідного протиріжучого підпору (рис.1).

Рис. 1 Схема подрібнювача стеблових кормів

Подрібнювач містить корпус живильника 1 з горловинами для завантаження 2 і вивантаження 9. Подавальний пристрій – живильник 3, виконаний у вигляді двох шнеків з правою та лівою навивкою. Кінцева частина живильника – “мундштук” 4 має форму, що звужується по напрямку подачі матеріалу. В робочій камері циліндричної форми 5, обертається барабан молоткового типу, який складається із ротора 7, на якому шарнірно закріплені молотки-ножі 8. Ротор та шнеки приєднано до окремих електродвигунів (на схемі не показано). Робоча камера має деку 6, напрямок рифів якої обрано виходячи із того, що для матеріалів з підвищеною вологістю подрібнення на деці здійснюється за рахунок розтирання, а не удару.

Конструкція молотка-ножа наведена на рис. 2. Конструкція об'єднує переваги молотка і ножа. За рахунок двох отворів для кріплення можна по черзі використовувати кожен із 4-х ріжучих граней. Робочу частину ножів-молотків виконано клиноподібною зі скосими гранями і насічками трикутної форми на її бічній поверхні, що надає різальним кромкам форму леза з пилкоподібним профілем. Розрахунки кута загострення та кута ковзання молотків-ножів, що забезпечують різання з ковзанням та експлуатаційну

надійність, дали такі результати: кут загострення – 30° , кут ковзання біля – 60° . Подальші експериментальні дослідження здійснювались із цими значеннями кутів.

Рис. 2 Загальний вигляд молотка-ножа

Процес подрібнення здійснюється таким чином. Стебловий матеріал надходить в завантажувальну горловину 2 (рис. 1) і шнеками переміщується до вхідного отвору камери подрібнення. За рахунок ущільнення на звуженні “мундштука” та переплетення своїх стеблових часток матеріал на вході в камеру має форму близьку до монолітного брикету. Фіксація кожної частки в брикеті в момент першої зустрічі з молотками-ножами обраної форми забезпечує умови різання з ковзанням. В зв’язку з хаотичним розташуванням частина стебел подрібнюється за рахунок різання рубкою або інших відомих механізмів подрібнення. Подальше подрібнення в камері здійснюється при взаємодії молотків-ножів та деки і не має суттєвих відзнак від існуючих конструкцій.

Математичний опис розробленого подрібнювача виконано за допомогою теорії подібності, яка дає змогу представити експериментальні дані моделями, що відбивають фізичні явища процесу подрібнення, а також визначити характеристики промислових зразків за результатами досліджень на фізичних моделях.

Як об’єкт математичного опису подрібнювач характеризується декількома десятками параметрів, з яких вибираються необхідні з точки зору завдань синтезу технологічної машини (табл. 1). Основними визначальними параметрами прийняли затрати енергії на подрібнення N та ступінь подрібнення λ .

Відповідно до обраних параметрів модель подрібнювача символічно на якісному рівні можна описати залежностями:

$$N=f_N(V, Q, D, s, l, n_{\pi}, n_m, \rho, q_p, E_d, \sigma_p)$$

$$\lambda=f_{\lambda}(V, Q, D, s, l, n_{\pi}, n_m, \rho, q_p, E, \sigma_p)$$

Залежності (1) згідно π - теореми можуть бути представлені у вигляді залежності між числами подібності. Для переходу до чисел подібності вибираємо в якості основних одиниць ρ, V, D , відповідний визначник яких не дорівнює нулю.

Таблиця 1

Параметри подрібнювача

Параметри	Позначення	Розмірність
Ступінь подрібнення	λ	-
Потужність приводу на валу ротора	N	$[L]^2[M][T]^{-3}$
Колова швидкість кінців молотків-ножів	V	$[L][T]^{-1}$
Масова подача	Q	$[M][T]^{-1}$
Насипна щільність стеблового корму	ρ	$[M][L]^{-3}$
Питома робота різання	q_p	$[M][T]^{-2}$
Модуль деформації	E_d	$[L]^{-1}[M][T]^{-2}$
Руйнівне контактне напруження	σ_p	$[L]^{-1}[M][T]^{-2}$
Діаметр ротора	D	$[L]$
Зазор між молотками-ножами	s	$[L]$
Відстань між кінцем молотка-ножа та зубом деки	l	$[L]$
Кількість пакетів молотків-ножів	n_{π}	-
Кількість молотків-ножів у пакеті	n_m	-

На основі методу аналізу розмірностей отримані критеріальні рівняння для розрахунку корисної потужності N і ступеня подрібнення λ :

$$\Pi_1 = K_1 \Pi_2^{\alpha_1} \Pi_3^{\alpha_2} \Pi_4^{\alpha_3} \Pi_5^{\alpha_4} \Gamma_3^{\alpha_5} n_n^{\alpha_6} n_m^{\alpha_7}$$

$$\lambda = K_2 \Pi_2^{\alpha_8} \Pi_3^{\alpha_9} \Pi_4^{\alpha_{10}} \Pi_5^{\alpha_{11}} \Gamma_3^{\alpha_{12}} n_n^{\alpha_{13}} n_m^{\alpha_{14}}$$

де $\Pi_1 = [N/(\rho V^3 D^2)]$; $\Pi_2 = [Q/(\rho V D^2)]$; $\Pi_3 = [q_p/(\rho V^2 D)]$; $\Pi_4 = [E_d/(\rho V^2)]$; $\Gamma_3 = 1/s$; $\Pi_5 = [\sigma_p/(\rho V^2)]$.

Визначення в (2) невідомих K_1 , K_2 , α_i є задачею експериментальних досліджень.

Для подальшого опису використовуємо закон зберігання енергії для матеріалу в подрібнювачі:

$$N = N_{\text{и}} + \Sigma N_i, \quad (3)$$

де N - потужність, яка передається ротором матеріалу; $N_{\text{и}}$ - потужність, яка необхідна для безпосереднього подрібнення; ΣN_i - потужність, яка необхідна на переміщення матеріалу, повітря і пов'язані з цим теплові втрати.

Звичайно енерговитрати аналізують у відносних одиницях, використовуючи масову подачу подрібнюваного матеріалу

$$E = A_{\text{и}} + E_{\text{п}}, \quad (4)$$

де $E = (N/Q)$ - енергоємність процесу подрібнення, або питомі витрати енергії в конкретному подрібнювачі на подрібнення 1 кг матеріалу, Дж/кг; $A_{\text{и}} = (N_{\text{и}}/Q)$ - питома робота подрібнення - робота безпосередньо витрачена на подрібнення 1 кг матеріалу, Дж/кг; $E_{\text{п}} = \Sigma(N_i/Q)$ - питомі втрати енергії в подрібнювачі, тобто витрати енергії, що безпосередньо не пов'язані з подрібненням, далі в роботі цей параметр іменується енергоємністю втрат; Q - масова подача матеріалу, кг/с.

Розподілення енерговитрат по складовим здійснюється за різноманітними методиками. Як відомо, подрібнення рослинної стеблової сировини найбільш точно описується законом П.Р. Рітінгера, тому далі прийнято, що питома робота подрібнення визначається формулами:

$$A_{\text{и}} = q(S_k - S_0) = qS_0(\lambda - 1), \quad (5)$$

де S_0 , S_k - питома площа поверхні матеріалу початкова і після подрібнення відповідно, $\text{м}^2/\text{кг}$; q - робота, яка витрачена на створення одиниці поверхні, Дж/м²; $\lambda = S_k/S_0$ - ступінь подрібнення.

Геометричні форми рослинної стеблової сировини звичайно представляють у вигляді циліндра або призми, довжина якого L_0 перевищує еквівалентний розмір поперечного перетину d . В роботі приймаємо, що поперечний перетин стебла має форму квадрата з довжиною сторони d .

Під подрібненням стебел звичайно розуміється розподілення по довжині на ряд шматків довжиною L_k зі збереженням поперечного перетину. При цьому ступінь подрібнення $\lambda = (L_0/L_k)$, де L_0 , L_k - середня довжина стебел до і після подрібнення. Тоді вираз (5) можна представити у вигляді робочої формули

$$A_{\text{и}} = (q_p/\rho L_0)(\lambda - 1) = C_2(\lambda - 1), \quad (6)$$

де q_p - робота різання шару стебел площею 1 м²; ρ - об'ємна маса шару, кг/м³; C_2 - коефіцієнт, запропонований С.В. Мельниковим.

Результати експериментальних досліджень всіх авторів свідчать, що при подрібненні в молоткових дробарках крім розчленування по довжині має місце так зване розщеплення стебел, тобто розчленування часток по меншому розміру d . Це явище описується коефіцієнтом розщеплення k_p , як відношення маси розщеплених часток до загальної маси. Для більшості подрібнювачів k_p досягає $(0,7 \dots 1,0)$.

Розщеплення є також подрібненням і характеризується утворюваною новою поверхнею і отже певними енерговитратами на це, тобто при переході від формули $A_n = qS_0(\lambda - 1)$ до $A_n = (q_p/\rho L_0) \times (\lambda - 1) = C_2(\lambda - 1)$ необхідно також враховувати поверхню розщеплення.

Уявимо пласт стебел, який подрібнюється, у виді паралелепіпеду з розмірами L_0, nd, d , де L_0 – довжина стебла, d – довжина сторони поперечного перетину стебла у вигляді квадрату, n – кількість стебел. Об'єм пласту $v = nd^2L_0$. Пласт розрізається поперек (по стороні L_0) на λ частин, вздовж (по стороні d) на 2 частини. Тоді, площа поперечного перетину $S_n = (v/L_0)$, площа повздовжнього перетину $S_p = (k_p v/d)$, де k_p – коефіцієнт розщеплення, а поверхня, що утворилась:

$$S_k - S_0 = S_n(\lambda - 1) + S_p = (v/L_0)[(\lambda - 1) + (k_p/b)], \quad (7)$$

де $b = (d/L_0)$.

Якщо припустити, що питома робота різання q_p для поперечного і подовжнього напрямків однакова, а в якості об'єму подрібнення взяти питомий об'єм $v = (1/\rho)$, то питома робота подрібнення з урахуванням розщеплення:

$$A_n = (q_p/\rho L_0)[(\lambda - 1) + (k_p/b)]. \quad (8)$$

Очевидно, що для конкретного матеріалу і конструкції подрібнювача $(q_p/\rho L_0) = C_3$ є константою, а вираз $[(k_p/b) - 1] = C_4$ можна наближено вважати константою при зміні режимних параметрів подрібнювача, оскільки величина k_p залежить в основному від конструкції.

Таким чином, робоча формула подрібнення рослинної стеблової сировини з урахуванням розщеплення в молоткових подрібнювачах з ріжучими робочими органами має вигляд:

$$A_n = C_3(\lambda + C_4). \quad (9)$$

Вигляд формули (9) знайдено при припущенні розщеплення стебел на дві частини, але можна показати, що він зберігається і при інших видах розщеплення. При цьому змінюється тільки вигляд аналітичних залежностей для C_3 і C_4 .

Складова в законі зберігання енергії (4) – енергоємність втрат E_n є функцією колової швидкості молотків-ножів V , масової подачі Q і фізичних властивостей матеріалу. Для визначення E_n є різноманітні підходи до значення її компонентів з достатньо складними аналітичними виразами. Проте аналіз наявних теоретичних і експериментальних залежностей дозволив встановити, що втрати енергії при сталій подачі матеріалу збільшуються із збільшенням колової швидкості молотків. Цю закономірність далі буде використано при моделюванні і позначено як **умову 1** запропонованої методики.

В загальному виді енергоємність втрат можна представити залежністю:

$$E_n = f_m'(V, D, Q, \rho), \quad (10)$$

де f_m – визначається подрібнюваним матеріалом, і яка відповідно до π -теорема може бути подана у вигляді залежності між числами подібності. Для переходу до чисел подібності

вибираємо в якості основних одиниць (ρ , V , D), і застосовуючи метод нульових розмірностей, одержуємо залежність між двома числами подібності (E_{II}/V^2), $[Q/(\rho VD^2)]$ у вигляді:

$$\frac{E_{II}}{V^2} = k_m \left(\frac{Q}{\rho V D^2} \right)^{\alpha_m}, \quad (11)$$

де k_m , α_m – константи для даного матеріалу, які змінюються при зміні матеріалу в силу закладеної неповноти опису фізичних властивостей матеріалу в (10).

Таким чином енергетичну модель процесу подрібнення рослинної стеблової сировини в молотковій дробарці можна подати у вигляді:

$$N/Q = C_{3m}(\lambda + C_{4m}) + k_m V^2 [Q/(\rho VD^2)]^{\alpha_m}. \quad (12)$$

Для заданого типа подрібнювача і матеріалу ця формула описує взаємозв'язок ступеня подрібнення і основних конструктивно - енергетичних характеристик N , Q , V , D , ρ .

Для визначення складових енерговитрат (12) за допомогою експериментальних даних розроблена методика, яка виходить із того, що експериментальному вимірюванню підлягає тільки E , а розподіл її на складові A_{II} , E_{II} , виходячи безпосередньо із експериментальних досліджень подрібнювача, не можливий.

Загально визнаний підхід в розв'язанні цієї проблеми базується на припущенні, що питома робота подрібнення A_{II} є характеристикою подрібнюваного матеріалу, яку можна визначити за допомогою окремих досліджень на спеціальному стенді. Це підтверджується для багатьох прикладів подрібнення, але для стеблових матеріалів не використовується і не може бути використано особливо, коли подрібнення здійснюється комбінованим способом. Тому в практичних розрахунках користуються співвідношеннями $E_{II} = f_{cl} A_{II}$, де f_{cl} - деякий сталий коефіцієнт. Або взагалі $N_x + \Sigma N_i = (0,15 \dots 0,2) x x Q A_{II}$, де N_x - потужність холостого ходу. Останнє означає, що сумарні втрати енергії складають біля (15...20) % енергії витраченої безпосередньо на подрібнення.

Використовуючи цей підхід, введемо для оцінки режимів роботи конкретного подрібнювача коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) подрібнювача:

$$\eta_{II} = (N_{II}/N) = [(E - E_{II})/E] = A_{II}/E. \quad (13)$$

К.к.д подрібнювача характеризує безпосередньо процес подрібнення в барабані і очевидно залежить від матеріалу, режимів та конструкції подрібнювача.

Можна припустити, що $\eta_{II} > 0,8$, однак попередня обробка масиву експериментальних даних показала, що для обраної конструкції та швидкості значення $\eta_{II} = C_3(\lambda + C_4)/E_p$ менше. Для більшості варіантів C_3 , C_4 - $\eta_{II} < 0,4$, що свідчить про неправильний їх вибір.

Тому було прийнято припущення, що при порівнянні двох варіантів значень коефіцієнтів моделі A_{II} точніше описує об'єкт той варіант, у котрого більше η_{II} , далі це було названо **умовою 2** – забезпечення $\eta_{II} = f(C_3, C_4) = \max$ в якості оцінки вибору найбільш адекватних значень C_3 , C_4 .

Запропонована робоча формула подрібнення для рослинної стеблової сировини $A_{II} = C_3(\lambda + C_4)$ має два невідомі коефіцієнта, для визначення яких розроблена експериментально-розрахункова методика, що базується тільки на визначенні залежностей $E = f(V, Q)$, $\lambda = \phi(V, Q)$, на моделі – експериментальному зразку подрібнювача для основних стеблових матеріалів.

Діапазон очікуваних значень коефіцієнтів C_3 , C_4 в формулі A_{II} , як показав аналіз,

досить вузький $C_3=0,1\dots0,5$, $C_4=-1\dots5$, що дозволяє за допомогою комп'ютера досить просто перебрати всі можливі варіанти залежностей $A_{ij}=C_3[\varphi(V, Q)+C_4]$ та обчислити для кожного варіанту C_{3j} , C_{4j} функцію енергоємності втрат: $E_{ij}=f_{ij}(V, Q)=f(V, Q)-C_{3j}[\varphi(V, Q)+C_{4j}]$.

Подальші кроки методики базуються на порівняльному аналізі сімейства залежностей E_{ij} за таким алгоритмом:

1. Відкидаються як неможливі варіанти, що дають $E_{ij}<0$ в робочому діапазоні V, Q .
2. Перевіряється виконання умови $1 E_{ij}(V_2) \geq E_{ij}(V_1)$ при $V_2 > V_1, Q = \text{const}$, і відкидаються варіанти, що їй не задовольняють.
3. Для варіантів, що залишилися обчислюється к.к.д. подрібнювача (13) $\eta_{ij}(V, Q)$ і обирається кращий за умовою 2.

Таким чином, шляхом послідовних наближень знаходяться оптимальні з точки зору обґрунтованих вимог значення C_3, C_4 і залежність $E_{ij}(V, Q)$ для типових матеріалів. Далі експериментально-розрахункові значення E_{ij} апроксимуються функцією чисел подібності (11) тобто знаходяться коефіцієнти k_m, α_m .

В третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень процесу подрібнення.

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено стенд, який складався із експериментального зразка подрібнювача обраної конструкції (рис. 1) та необхідних допоміжних та вимірювальних пристроїв.

В якості подрібнюємої сировини обрано типові види стеблового корму: зелена маса люцерни, кукурудзяний силос, сіно люцерни з вологістю відповідно 75...79 %, 74...77 %, 16...18 % і середньозваженою довжиною часток 46...58 мм.

З метою виявлення найбільш ефективної конструкції молотка-ножа були проведені порівняльні випробування декількох конструкцій. За зоотехнічними вимогами до фракційного складу подрібненого корму було обрано конструкцію товщиною 3 мм з насічками трикутної форми на ріжучій поверхні.

Визначення інших оптимальних конструктивно – технологічних параметрів проводили за методикою багатofакторного експерименту з використанням плану Бокса B_4 .

В якості критерію оптимізації при дослідженні використовували відомий вираз

$$\eta = \frac{N \cdot \sigma_p \cdot M}{Q \cdot S_D \cdot M_\phi} \quad (14)$$

де η - показник якості подрібнення, кВт год/т; N - потужність, кВт; σ_p - середньоквадратичне відхилення граничних величин заданого розміру часток, мм; M - загальна маса наважки, т; M_ϕ - маса фракції, яка складається з часток фізіологічно обґрунтованих розмірів для конкретного виду тварин, т; Q - продуктивність подрібнювача, т/год; S_D - припустиме відхилення середньозаданого розміру часток, мм.

Цей критерій дозволяє характеризувати процес подрібнення з урахуванням питомих витрат енергії, фракційного складу і ступеня розщеплення часток.

Розрахунок показнику якості подрібнення у відповідності з відомою методикою шляхом обробки експериментальних даних на ЕОМ дозволив одержати рівняння регресії другого порядку в кодованому вигляді:

$$y=98,7482-14,8489x_1-42,0637x_2-6,6993x_4+13,5721x_1x_2+5,1862x_1x_4+6,3779x_2x_4+ \\ +3,7738x_3x_4-5,0721x_1x_2x_4-17,9982x_1^2-38,2982x_2^2+21,0351x_3^2-14,7982x_4^2 \quad (15)$$

Аналіз впливу факторів на критерій оптимізації виконано за допомогою двомірних перетинів, з яких встановлено, що для даної конструкції подрібнювача параметрами, які забезпечують найменші значення показника критерію оптимізації 1,1 кВт· год/т (загальна енергоємність процесу подрібнення $E = 3,65$ кВт· год/т; та найбільшу кількість часток розміром до 0,005 м – 92,7 %) є: колова швидкість молотків-ножів $V = 51$ м/с, масова подача $Q = 0,57$ кг/с, зазор між молотками-ножами $s = 0,002$ м, кількість пакетів молотків-ножів $n_n = 6$ шт.

Відповідно до розробленої методики для визначення параметрів критеріальних моделей подрібнювача необхідно встановити експериментальні залежності: $N=f_N(V, Q, s, n_n)$, $\lambda=f_\lambda(V, Q, s, n_n)$ для трьох типових стеблових матеріалів. Інші конструктивні параметри подрібнювача мали сталі оптимальні значення, яке було обґрунтовано вище.

Результати по визначенню енергоємності і ступеня подрібнення зеленої маси люцерни в залежності від колової швидкості молотків-ножів V , зазору між молотками-ножами s і кількості пакетів молотків-ножів n_n для різних значень подачі 1 – $Q = 0,17$ кг/с, 2 – $Q = 0,37$ кг/с, 3 – $Q = 0,57$ кг/с наведено на рис. 3, 4, 5. Залежності для кукурудзяного силосу і сіна люцерни мають аналогічний вигляд і наведені в дисертації.

Визначення коефіцієнтів та показників критеріальних рівнянь (2), що визначають основні характеристики подрібнювача E , λ здійснювали за загальноприйнятою методикою. За допомогою комп'ютера обробляли експериментальні дані, що наведені вище, звідки було отримано:

$$P_1 = 8,66 P_2^{1,16} \Gamma_3^{0,40} n_n^{0,10} \quad (16)$$

а
б
 Рис. 3 Залежність енергоємності E (а) і ступеня подрібнення λ (б) від колової швидкості молотків-ножів ($s=2$ мм; $n_n = 4$)

а
б
 Рис. 4 Залежність енергоємності E (а) і ступеня подрібнення λ (б) від зазору між молотками-ножами s ($V = 46$ м/с; $n_n = 2$)

а
б
 Рис. 5 Залежність енергоємності E (а) і ступеня подрібнення λ (б) від кількості пакетів молотків-ножів n_n ($V = 46$ м/с; $s = 2$)

Максимальна відносна похибка між експериментальними і розрахунковими значеннями за виразом (16) складає 25,5 %, а її середнє значення складає 11,6%, що підтверджує адекватність розробленої моделі по витратам енергії.

Обробка експериментальних даних за числами подібності P_3, P_4, P_5, n_m не виявила закономірностей їхнього впливу на P_1 . За цією ж причиною визначення λ у критеріальній формі $\lambda = K_2 P_2^{\alpha_8} P_3^{\alpha_9} P_4^{\alpha_{10}} P_5^{\alpha_{11}} \Gamma_3^{\alpha_{12}} n_n^{\alpha_{13}} n_m^{\alpha_{14}}$ не дало позитивних результатів, що вказує на необхідність використання яких-небудь теоретичних зв'язків між λ і іншими параметрами подрібнювача.

Визначення питомої роботи подрібнення та енергоємності втрат здійснювалась за методикою, викладеною в розділі 2. Для кожного із подрібнюваних матеріалів для трьох значень масової подачі аналізувались залежності: $E = f(V)$, $\lambda = f(V)$ при $Q=Q_i$. Для спрощення процедури було використано експериментально встановлену закономірність (рис. 3 б, 4 б, 5 б), що λ – однозначна функція V , яка зростає з ростом V . Це дає змогу

аналізувати енергоємності у вигляді $E = f_1(\lambda)$ і $E_{\text{п}} = f_{\text{п}}(\lambda)$. Задаючись варіантами значень C_{3j} , C_{4j} із області реально можливих розраховані сімейства залежностей $E_{\text{п}} = f_{1j}(\lambda) - C_{3j}(\lambda + C_{4j})$.

На рис. 6 для прикладу наведені три варіанти для зеленої маси, з яких варіанти 2 і 3 відповідають умові 1. Далі розраховували к.к.д. подрібнювача $\eta_{\text{п}} = \frac{E_{\text{п}}(\lambda)}{E(\lambda)}$. З рис. 7 згідно умови 2 обрано варіант 2 $A_{\text{п}} = 0,25(\lambda + 4)$, як такий, що має більше к.к.д. Описана процедура застосована при трьох значеннях Q і цей варіант є результатом послідовних наближень. При цьому було встановлено, що найкращий за умовами 1 і 2 варіант для певної подачі лишається найкращим в межах припустимої похибки і для інших значень подач.

Рис. 6 Залежність енергоємності втрат $E_{\text{п}}$ від ступеня подрібнення λ зеленої маси люцерни при різних значеннях $A_{\text{п}}$:

1- 0,5 ($\lambda - 1$); 2- 0,25($\lambda + 4$); 3- 0,2($\lambda - 1$)

Рис. 7 Залежність к.к.д. подрібнення $\eta_{\text{п}}$ зеленої маси люцерни від ступеня подрібнення λ при різних значеннях $A_{\text{п}}$:

1- 0,5 ($\lambda - 1$);
2- 0,25($\lambda + 4$); 3- 0,2($\lambda - 1$)

Аналогічна процедура для силосу дала $A_{\text{п}} = 0,32(\lambda + 2)$.

Для сіна варіант у вигляді $A_{\text{п}} = 0,6(\lambda - 1)$ виявився найкращим, що підтверджує достатню точність формули $A_{\text{п}} = (q_p / \rho L_0)(\lambda - 1) = C_2(\lambda - 1)$ для матеріалів з малим розщепленням або низькою питомою роботою розщеплення.

Далі по відомих $A_{\text{п}}$ з (4) було розраховано експериментальні значення функції $E_{\text{п}}(V, Q)$. За розрахунково-експериментальними значеннями $E_{\text{п}}$ згідно (11) було знайдено критеріальні залежності для трьох матеріалів: для зеленої маси люцерни $k_m = 0,04$, $\alpha_m = 0,32$; для кукурудзяного силосу $k_m = 0,04$, $\alpha_m = 0,30$; для сіна люцерни $k_m = 0,02$, $\alpha_m = 0,25$. Максимальна відносна похибка між експериментальними і розрахунковими значеннями числа подібності $E_{\text{п}}/V^2$ складає 22,9 %, а її середнє значення складає 10,9 %.

В четвертому розділі проведено порівняльну оцінку і апробацію подрібнювача в умовах виробництва.

На базі розроблених моделей виконано комп'ютерне моделювання процесу подрібнення. З критеріальної моделі витрат енергії (16) отримано вираз для розрахунку питомого показника затрат енергії – енергоємності подрібнення:

$$E = 8,66V^2 \left(\frac{Q}{\rho VD^2} \right)^{0,16} \left(\frac{1}{S} \right)^{0,4} n_{\text{п}}^{0,1} \quad (17)$$

Відносна похибка між експериментальними даними ($Q = 0,57$ кг/с; $s = 2$ мм; $n_{\text{п}} = 4$) та розрахованими за виразом (17) складає від 1,5 до 12,4 %.

Уявлення енергоємності подрібнення через дві складові: питому роботу подрібнення та енергоємність втрат, дозволило за розробленою методикою визначити ці залежності у вигляді:

$$\begin{aligned} \text{для зеленої маси люцерни} & E = 0,25(\lambda + 4) + 0,04V^2 \left(\frac{Q}{\rho VD^2} \right)^{0,32} \\ \text{для кукурудзяного силосу} & E = 0,32(\lambda + 2) + 0,04V^2 \left(\frac{Q}{\rho VD^2} \right)^{0,30} \\ \text{для сіна люцерни} & E = 0,6(\lambda - 1) + 0,02V^2 \left(\frac{Q}{\rho VD^2} \right)^{0,25} \end{aligned} \quad (18)$$

Використання (17) та (18) дозволило провести комп'ютерне моделювання через складові енергоємності: питома робота подрібнення $A_{п}$, енергоємність втрат $E_{п}$ (визначення цих складових в експерименті – не можливо). Таке моделювання за режимами, відтворення яких в експерименті було ускладнено або неможливо, проведено для кількості пакетів молотків-ножів $n_{п}=6$ при $Q=0,57$ кг/с, $s=2$ мм.

Розроблені моделі дозволяють розв'язати важливу практичну задачу – визначення характеристик промислового зразка за результатами дослідження фізичної моделі. **Відомо, що подібність моделі і натурального зразка забезпечується рівністю відповідних чисел подібності.** Масштабне перетворення параметрів здійснюється за виразами: $E_{п}=m_E E_{пм}$; $A_{п}=m_A A_{пм}$; $E=m_E E_M$, $V=m_V V_M$; $D=m_D D_M$; $\omega=m_{\omega} \omega_M$; $l=m_l l_M$, $s=m_s s_M$; $N_p=m_N N_M$; $Q=m_Q Q_M$; $\lambda=m_{\lambda} \lambda_M$, де m_i – масштабний коефіцієнт i -го параметра, індекс m означає параметри фізичної моделі. Звідки отримано співвідношення між масштабами:

$$m_Q = m_V m_1^2 = m_{\omega} m_1^3, m_E = m_V^2 = m_{\omega}^2 m_1^2, m_N = m_V^3 m_1^2 = m_{\omega}^3 m_1^5, [(\lambda + C_4)] / [(\lambda_M + C_{4M})] = m_E, m_{\lambda} = m_V^2 [1 + (C_4 / \lambda_M)] - (C_4 / \lambda_M), \text{ при } \rho = \rho_M, C_3 = C_{3M}. \quad (19)$$

Виробничі випробування створеного подрібнювача стеблових кормів проведено в Дослідному господарстві “Світанок” Запорізького району Запорізької області. Випробування, які виконувались згідно ДСТУ 46.007-2000, підтвердили результати експериментального і комп'ютерного моделювання.

Перевірено в виробничих умовах фермерського господарства ефективність використання подрібнювача для подрібнення соломи з подальшим її використанням як субстрату при вирощуванні грибів-гливи. Проведені дослідження підтвердили, що таке подрібнення суттєво покращує якість субстрату, що призводить до збільшення врожайності на 20 % і скорочення терміну вирощування на 23 %.

Порівняльна оцінка розробленого і існуючих подрібнювачів за техніко-економічними показниками показала, що новий подрібнювач має кращу енергоємність та ступінь подрібнення, тобто витрачає більшу частку енергії на утворення нових поверхонь, а ні на супутні втрати.

Комплексна оцінка конкурентоспроможності нового подрібнювача за типовою методикою підтвердила, що порівняно з існуючими вітчизняними і зарубіжними зразками його коефіцієнт технічного рівня становить 1,7...16,8, а комплексний показник конкурентоспроможності – 1,1...9,2, тобто за комплексом показників новий подрібнювач перевищує світові аналоги.

Розрахунок економічних показників та економічної ефективності нового подрібнювача стеблових кормів для кормоцехів та комбикормових заводів продуктивністю від 780 до 4680 тони на рік свідчить про можливість отримати щорічний економічний ефект від 789,6 до 34103,8 грн. Термін окупності подрібнювача при цьому становить від 0,4 до 6,0 років.

ВИСНОВКИ

1. Доведено, що для підвищення техніко-економічних показників подрібнювачів та якості подрібнення рослинної стеблової сировини доцільно використати в молоткових подрібнювачах одночасне ударне подрібнення та різання з ковзанням при забезпеченні необхідного протирижучого підпору.

2. Розроблено конструкцію подрібнювача молоткового типу з шарнірно закріпленими молотками-ножами і гвинтовим живильником, який ущільнює подаваний матеріал на вході в зону подрібнення, що забезпечує найкращі техніко-економічні показники процесу подрібнення.

3. Запропоновано математичну модель витрат енергії в подрібнювачах молоткового типу, яка визначає залежність питомих витрат енергії від ступеня подрібнення та

основних конструктивно-режимних параметрів: швидкості молотків-ножів, витрат подрібнюючого матеріалу та його густини. Обґрунтовано необхідність врахування при визначенні питомої роботи на подрібнення зелених стеблових кормів затрат роботи на розщеплення вздовж стебел.

4. Розроблено методику розрахунку питомої роботи подрібнення і питомих втрат енергії на базі експериментальних залежностей енергоємності та ступеня подрібнення від швидкості молотків-ножів, подачі та виду корму. Для визначення невідомих змінних при недостатній кількості рівнянь обґрунтовано використання апріорної інформації про вигляд функцій, що розраховуються.

5. Обґрунтовано, що інтенсифікація процесу подрібнення рослинної стеблової сировини в подрібнювачі молоткового типу з шарнірно закріпленими молотками-ножами спостерігається при збільшенні колової швидкості молотків-ножів, витрат матеріалу, кількості пакетів молотків-ножів та при зменшенні зазору між молотками-ножами. Визначальний вплив на процес подрібнення мають колова швидкість молотків-ножів та масова подача матеріалу.

6. Установлено, що найменші затрати енергії при забезпеченні заданої якості подрібнених кормів можна досягти за такими конструктивно – технологічними параметрами подрібнювача: для зеленої маси люцерни - колова швидкість молотків-ножів $V= 51$ м/с, масова подача матеріалу $Q= 0,57$ кг/с, зазор між молотками-ножами $s= 0,002$ м, кількість пакетів молотків-ножів $n_n=6$ шт; для кукурудзяного силосу відповідно - $V= 56$ м/с; $Q= 0,57$ кг/с; $s= 0,002$ м; $n_n= 6$ шт; для сіна люцерни відповідно - $V= 61$ м/с; $Q= 0,57$ кг/с; $s= 0,002$ м; $n_n= 6$ шт.

7. Визначено умови подібності та зв'язки масштабних коефіцієнтів, за якими можна здійснити перехід від фізичної моделі до математичної (комп'ютерної), а потім і до натурального зразку.

8. Порівняльна оцінка подрібнювача показала, що за комплексом техніко-економічних показників він перевищує відомі аналоги.

9. Виконано виробничі випробування подрібнювача, обґрунтовано і перевірено його використання для підготовки субстрату при вирощуванні грибів. Проведено економічну оцінку, яка свідчить, що його впровадження в кормоцехах та комбикормових заводах продуктивністю від 780 до 4680 тонни на рік дає змогу отримати щорічний економічний ефект від 789,6 до 34103,8 грн. Термін окупності подрібнювача при цьому становить від 0,4 до 6,0 років.

Список опублікованих наукових праць

1 Семиряк В.П., Безпалов Р.І. Подрібнювач стеблових кормів // Вісник аграрної науки.- 2000.- № 6 Спеціальний випуск.- С.91 (здобувач обґрунтував та розробив конструктивну схему подрібнювача з вертикальним розташуванням камери подрібнення).

2 Беспалов Р.И. Предпосылки совершенствования машин для измельчения стебельчатых кормов // Зб. наук. пр. ОДАХТ.- Одеса, 2000.- Вип. 21.- С. 192-194.

3 Беспалов Р.І., Мігдаль Л.П., Лашко І.О. Використання подрібнювача стеблових кормів для підготовки субстрату при вирощуванні грибів // Зб. наук. пр. ОДАХТ.- Одеса, 2003.- Вип. 25.- С. 192-194 (здобувачем запропоновано застосування подрібнювача стеблових кормів для підготовки субстрату при вирощуванні грибів та проведенні експериментальних досліджень).

4 Остапчук М.В., Беспалов Р.І. Експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів // Зб. наук. пр. ОДАХТ.- Одеса, 2003.- Вип. 26.- С. 25-28 (здобувач виконав експериментальні дослідження).

5 Беспалов Р.И. Критериальная модель энергозатрат измельчителя // Холодильная техника и технология. - 2004.- № 1. - С. 59-64.

6 Беспалов Р.І. Оцінка конкурентоспроможності обладнання для подрібнення стеблових кормів // Вісник аграрної науки. - 2004. - № 7. - С. 50-52.

7 Подрібноувач кормових матеріалів: Патент № 33938 Україна, МКИ А01F 29/02 / Семиряк В.П., Безпалов Р.І. - № 99042479; Заявл. 30.04.99; Опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1. – С. 4 (здобувач розробив конструкції подрібнювальної камери та молотка-ножа).

Аннотация

Беспалов Р.И. Повышение эффективности процесса измельчения кормов.- рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств.- Одесская национальная академия пищевых технологий. – Одесса. – 2005.

Диссертация посвящена вопросам создания измельчителя стебельчатых растительных материалов с молотковым барабаном и питателем винтового типа, методов их анализа и оптимизации, что обеспечивает повышение эффективности измельчения и соответствует современным условиям кормопроизводства.

Рассмотрены измельчители стебельчатых кормов, которые используются в кормопроизводстве при измельчении стебельчатых материалов, выявлены их недостатки и слабые элементы. Установлено, что наиболее эффективным способом измельчения является одновременное ударное измельчение и резание со скольжением при обеспечении необходимого противорежущего подпора. Разработана соответствующая конструкция, проведены экспериментальные исследования нового измельчителя, подтвердившие его эффективность.

Предложена методика энергетического расчета, которая учитывает конструктивно – технологические параметры измельчителя. Для расчета удельной работы измельчения предложено выражение, которое учитывает степень измельчения и расщепленность стеблей.

Интенсификация процесса измельчения увеличивается с увеличением окружной скорости молотков-ножей, массовой подачи, количества пакетов молотков-ножей, с уменьшением зазора между молотками-ножами. Определяющие влияние на процесс измельчения имеет окружная скорость молотков-ножей и массовая подача. Наиболее эффективно измельчитель стебельчатых кормов работает при таких конструктивно-технологических параметрах: для зеленой массы люцерны: $V = 51$ м/с; $Q = 0,57$ кг/с; $s = 0,002$ м; $n_{п} = 6$ шт; для кукурузного силоса: $V = 56$ м/с; $Q = 0,57$ кг/с; $s = 0,002$ м; $n_{п} = 6$ шт; для сена люцерны: $V = 61$ м/с; $Q = 0,57$ кг/с; $s = 0,002$ м; $n_{п} = 6$ шт.

Проведено компьютерное моделирование процесса измельчения стебельчатых материалов. Определены условия подобия и связь масштабных коэффициентов, которые необходимо использовать при расчетах промышленных образцов по характеристикам модели.

Выполнены производственные испытания измельчителя и проведена экономическая оценка, которая свидетельствует, что его внедрение по сравнению с лучшими образцами отечественных машин на фермах от 1000 до 6000 голов свиней дает возможность получить экономический эффект от 789,6 до 34103,8 грн. в год. Термин окупаемости при этом находится от 0,4 до 6,0 лет. Комплексная оценка измельчителя по сравнению с лучшими образцами измельчителей показало, что его технический уровень по комплексной оценке составляет 1,1...9,2, то есть он превышает рассмотренные аналоги. Обосновано так же использования измельчителя стебельчатых кормов для подготовки субстрата для выращивания грибов.

Ключевые слова: стебельчатые материалы, измельчение, измельчитель молоткового типа, молотки-ножи.

Анотація

Безпалов Р.І. Підвищення ефективності процесу подрібнення кормів – рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та

фармацевтичних виробництв. - Одеська національна академія харчових технологій. - Одеса. – 2005.

В дисертації показано, що існуючі способи та устаткування для подрібнення рослинної стеблової сировини мають низькі техніко-економічні показники. Обґрунтовано доцільність та розроблена нова конструкція подрібнювача з використанням одночасного ударного подрібнення та різання з ковзанням при забезпеченні необхідного протирижучого підпору.

Запропоновано методику моделювання та розрахунку енерговитрат та ступеня подрібнення. Визначено конструктивні параметри і режими роботи нового подрібнювача, які забезпечують найменші витрати енергії, зниження маси, мінімальні капітальні вкладення. Економічний ефект від впровадження запропонованого подрібнювача складає в залежності від продуктивності господарства від 789,6 до 34103,8 грн. що річно.

Ключові слова: стеблові корми, подрібнення, подрібнювач молоткового типу, молотки-ножі.

Summary

Bespalov R.I. Increasing of efficiency of feed grinding process.- Manuscript.

Thesis for a candidates degree in the technical sciences by speciality 05.18.12 – processes and apparatuses of food, microbiological and pharmacy production.- Odessa national academy of food technologies. – Odessa. – 2005.

In the dissertation is shown, that the existing ways and equipment for crushing stalk of materials have low technical and economic parameters, is analytically proved and is experimentally confirmed expediency of development of a new design crusher with use of simultaneous shock crushing and cutting with sliding at maintenance necessary against cutting to prop up, the design data and modes of operations new crusher are determined which provides low expenses of energy, reduction of weight, low operational expenses, minimal capital investment. The technique of power account is offered which takes into account structurally - technological parameters crusher. For account of specific work of crushing the expression is offered which takes into account a degree of crushing and splitting of stalks. The economical effect of introduction offered crusher makes depending on productivity of a economy from 789,6 up to 34103,8 uah per one year.

Keywords: stalk of materials, crushing, crusher hammer of a type, hammer - knife.