


На правах рукопису

ЯРОЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР АНДРІЙОВИЧ

ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ І ПАРАМЕТРІВ  
БАГАТОДИСКОВОГО ПОДРІВНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ  
ПІДБИРАЧІВ-ЗАВАНТАЖУВАЧІВ ПРОВ'ЯЛЕНИХ ТРАВ

Спеціальність 05.20.01 -  
"Механізація сільськогосподарського виробництва"



Автореферат дисертації  
на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

№ 27. 72

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00814357 (S)

Робота виконана в Інституті механізації та електрифікації сільського господарства Української академії аграрних наук (ІМЕСГ УААН).

Науковий керівник -

доктор технічних наук,  
академік УААН, професор  
ПОГОРІЛИЙ Л.В.

Науковий опонент -

доктор технічних наук,  
професор  
ХРАПАЧ Є.І.

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
КУЗЬМІЧ Я.А.

Провідна організація -

Науково-виробниче об'єднання  
по фермських машинах  
(НВО "НДІФЕРММАШ")

Захист дисертації відбудеться "24" червня 1993 року о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 020.30.01 по присудженню наукового ступеня доктора технічних наук в Інституті механізації та електрифікації сільського господарства Української академії аграрних наук за адресою: 255133, Київська область, Васильківський район, с.м.т. Глеваха-І, вул. Вокзальна, ІІ, ІМЕСГ УААН, кімната 613.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту механізації та електрифікації сільського господарства.

Автореферат розісланий "24" Травня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

М.І. ГРИДАШИН

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. В даний час ресурсозбереження в процесі виробництва сільськогосподарської продукції набуває особливого значення. Аналіз результатів відповідної оцінки основних способів заготівлі кормів із трав показує, що найбільш перспективними в цьому відношенні є технології заготівлі подрібненого сіна з досушуванням маси активним вентиляванням та сінажу. Вони передбачають подрібнення пров'яленої рослинної маси під час збирання, але сільськогосподарське виробництво України не забезпечено в достатній кількості технічними засобами для виконання вищезазначеної операції. Крім того, застосовувані польові подрібнювачі енергоємні, металоміські, мають низьку технічну і технологічну надійність. Основною причиною вказаних недоліків є недосконалість існуючих подрібнювальних апаратів, які спроможні виконувати технологічний процес лише при високих швидкостях різання (30-33 м/с) шляхом взаємодії жорстко встановлених ножів з протиріжучов пластиню.

Аналіз існуючих способів подрібнення рослинної маси показує, що зниження енергоємності процесу та більш надійної роботи ріжучого механізму можна досягти при використанні принципів багатоплощинного різання. Це дозволяє знизити швидкість руху ножів в матеріалі до 0,4...2,5 м/с без зменшення продуктивності подрібнювача і створити технічні передумови простого і надійного захисту кожного ріжучого елемента окремо. Але виробництво подрібнювальних апаратів, побудованих на такій основі, стримується із-за відсутності систематизованих наукових досліджень по обґрунтуванню механіко-технологічної схеми робочого процесу і параметрів робочих органів необхідних для його виконання.

Об'єкт досліджень. Технологічний процес подрібнення пров'ялених трав і подрібнювальні робочі органи.

Мета роботи. Зниження енергоємності подрібнення пров'ялених трав під час збирання.

Методи досліджень і апаратура. Під час досліджень застосовувались аналітичні та статистично-ймовірні методи, а також систематизація і аналіз результатів експериментальних та виробничих випробувань. Експериментальні дослідження виконувались в лабораторних та польових умовах, при цьому використовувались відповідні експериментальні установки, а також прилади та обладнання

як стандартні, так і розроблені автором. Результати досліджень оброблялись методами дисперсійного та регресивного аналізу із застосуванням ПЕОМ ІВМ РС/АТ.

Теоретичні результати та новизна. Одержані залежності для визначення енергомосткості технологічного процесу збирання рослинної маси з одночасним подрібненням, що дозволяють обґрунтувати тип подрібнювального апарату, а також рівняння для визначення критичних зусиль і енергомосткості різання, які дають змогу оптимізувати параметри і режими роботи його робочих органів.

Практичні результати та новизна. Обґрунтована механіко-технологічна схема процесу низькоенергетичного подрібнення рослинної маси. Розроблено подрібнювальний апарат для реалізації такого процесу, оптимізовано параметри його робочих органів та режими роботи. Новизна використаних технічних рішень підтверджена авт. св. № І685304 та рішенням ВНДІДПЕ про видачу авторського свідоцтва по заявці № 4927054/І5. Запропоновано метод розрахунків параметрів і режимів роботи подрібнювальних апаратів багатоплощинного різання.

На захист виносяться: спосіб багатоплощинного різання матеріалу, як основний фактор зниження енергомосткості подрібнення пров'ялених трав; теоретично-експериментальне обґрунтування технологічної схеми, параметрів та режимів роботи подрібнювача.

Апробація роботи. Основні положення та результати роботи доповідались на республіканській науково-технічній конференції в 1988 році (м. Вінниця), на науково-технічних конференціях в 1990 р. (м. Тамбов) та в 1990 р. (м. Москва).

Предмет і ступінь впровадження. По результатах виконаних досліджень були виготовлені експериментальні польові подрібнювачі, які пройшли виробничу перевірку в дослідному сільськогосподарському виробництві УАН (1990 р.), в радгоспі "Літківський" (1991 р.). Результати досліджень використані заводом сільгоспмашинобудування ім. М.В.Фрунзе при розробці технічного завдання і конструкторської документації на дослідні зразки багатодискових подрібнювачів до прес-підбирачів ПШ-Ф-І,6, які пройшли попередні випробування на Казахській МВС (1990 р.). По результатах досліджень розроблені вихідні вимоги на підбирач-подрібнювач-завантажувач рослинної маси, які затверджені Міністерством сільського господарства та продовольства України (1993 р.). Розробка включена до Національної програми виробництва технологічних комплексів ма-

шин і устаткування для сільського господарства та переробної промисловості (шифр Р.43.74.014).

Ефективність впровадження. Застосування розробленого подрібнювача на машинах для збирання пров'ялених трав дозволяє підвищити продуктивність праці на 40 %, зменшити приведені витрати на 48% і питомі капіталовкладення на 33 % порівняно з барабаним подрібнювачем.

Сфера застосування. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових машин для подрібнення стеблових кормових матеріалів.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, основних висновків і пропозицій, списку використаної літератури, що включає 129 найменувань, в тому числі 29 на іноземних мовах. Загальний обсяг дисертації з додатками складає 177 сторінок. Основна частина - 100 сторінок машинописного тексту, 61 рисунок, 12 таблиць.

### ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі "Сучасний стан питання та задачі досліджень" на основі літературних даних визначений рівень агротехнічних вимог, які ставляться до польових подрібнювачів, проведений аналіз технічних засобів і експериментально-теоретичних досліджень способів подрібнення рослинної маси. Це дозволило з'ясувати, що в даний час до польових подрібнювачів ставляться підвищені вимоги у відношенні ресурсозбереження, які зумовлені загальною тенденцією застосування в сільськогосподарському виробництві відповідних технологій. Але більшість існуючих типів подрібнювачів не задовольняють вимогам ресурсозбереження, бо є енергоємними, ненадійними в роботі машинами, які до того ж допускають значні втрати урожаю. Застосування принципів багатоплощинного різання і відповідних робочих органів створив найкращі механіко-технологічні передумови зниження енергомосткості технологічного процесу збирання пров'ялених трав з одночасним подрібненням. Тому побудований на такій основі багатодисковий подрібнювач (див. рис. 1) був прийнятий нами за об'єкт досліджень.

Літературний аналіз результатів досліджень по даному питанню таких авторів як Горячкін В.П., Желіговський В.А., Зяблов В.А., Резнік Н.Б., Босой Е.С., Карпенко А.Н., Синекоков Г.Н.,

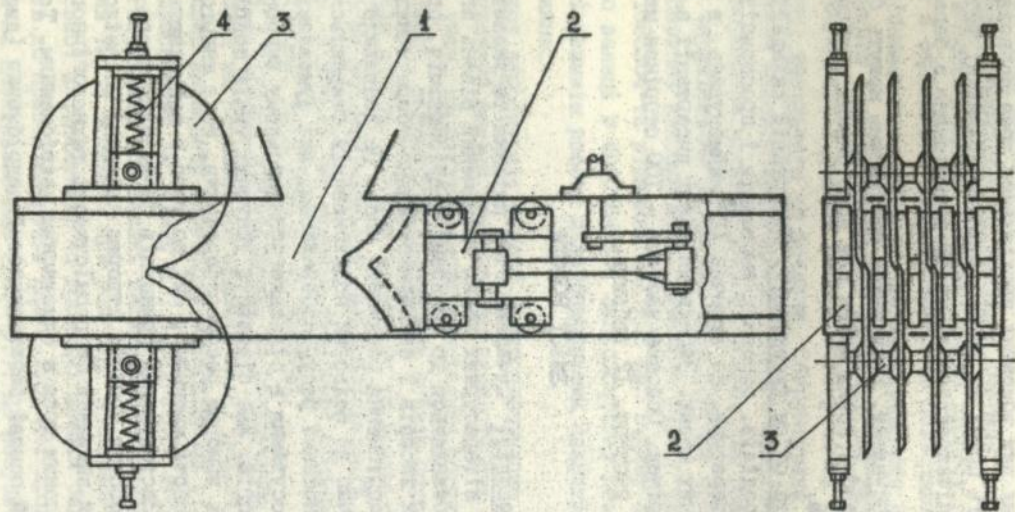


Рис. 1. Багатодисковий подрібнювальний апарат:

- 1 - робоча камера; 2 - механізм подачі матеріалу на різання;  
 3 - секції з дисковими ножами; 4 - запобіжна пружина

Knighr A.C., O'Dogerty M.J. та інш. показав, що існуючі аналітичні залежності не дозволяють виконувати інженерні розрахунки по обґрунтуванню процесу роботи і параметрів подрібнювача багатоплощинного різання, а по результатах експериментальних досліджень достовірно встановлені зони оптимальних значень лише декількох параметрів робочих органів.

Результати проведеного аналізу і поставлена в роботі мета зумовили наступні задачі досліджень:

- провести теоретичний аналіз процесу подрібнення рослинної маси і визначити аналітичні залежності для обґрунтування типу подрібнювача і оптимізації його основних конструктивних параметрів та режимів роботи;
- провести експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормових матеріалів з метою перевірки та коригування теоретичних залежностей;
- обґрунтувати тип, оптимальні параметри робочих органів подрібнювача та режими його роботи;
- розробити методика інженерних розрахунків основних конструктивних елементів і режимів роботи подрібнювача багатоплощинного різання;
- провести виробничу перевірку і визначити техніко-економічні показники роботи експериментального подрібнювача.

У другому розділі "Теоретичний аналіз процесу подрібнення стеблових кормових матеріалів" викладені результати енергетичного аналізу процесу роботи підбирачів-подрібнювачів-завантажувачів, а також теоретичні дослідження процесу взаємодії ріжучих елементів з матеріалом. Приведені основні математичні залежності, що описують цей процес і йому супутні.

Енергетичний аналіз виконувався з метою обґрунтування доцільності застосування на підбирачах-подрібнювачах-завантажувачах рослинної маси подрібнювальних апаратів багатоплощинного різання та попередньої оцінки можливостей зниження енергомісткості процесу.

Аналізувалися складові енерговитрат на виконання технологічного процесу серійним барабанним подрібнювачем і подрібнювачем багатоплощинного різання:

$$N_{\text{заг}} = N_{\text{хх}} + E_{\text{доп}} \cdot Q + \frac{E_{\text{різ}}}{\rho_{\text{ср}} \cdot \ell_{\text{р}}} \cdot Q \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right), \quad (1)$$

де  $N_{\text{заг}}$  - загальна потужність необхідна для виконання техноло-

гічного процесу, кВт;  $N_{\text{ух}}$  - потужність холостого ходу механізмів машини, кВт;  $E_{\text{доп}}$  - енерговитрати на зміну кількості руху матеріалу в процесі його взаємодії з робочими органами машини та подолання виникаючих при цьому сил тертя, кДж/кг;  $E_{\text{різ}}$  - питома енергоємність різання стосовно одиниці площі поверхні створеної сухої речовини в площині різання, Дж/мм<sup>2</sup>;  $l_p$  - довжина різки, мм;  $Q$  - подача матеріалу, кг/с;  $W$  - вологість маси, %;  $\rho_{\text{сп}}$  - щільність сухої речовини рослинної маси, г/мм<sup>3</sup> (для трав  $\rho_{\text{сп}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \dots 1,55 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup>).

Величину  $E_{\text{доп}}$  розраховували за відомою формулою:

$$E_{\text{доп}} = 0,6 \cdot \left[ \frac{C}{g} \cdot (0,5 + f \cdot \Psi) \cdot V^2 + 1 \right], \quad (2)$$

де  $V$  - швидкість руху оброблюваного матеріалу;  $C$  - коефіцієнт пропорційності ( $C = 0,017$  кН/кг),  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $f$  - коефіцієнт тертя;  $\Psi$  - показник, що характеризує величину зони контакту матеріалу з поверхнею робочих органів.

Питома енергоємність різання  $E_{\text{різ}}$  визначалась експериментально в залежності від кількості сухої речовини, що потрапляє в площину різання:

$$H_{\text{сп}} = 10^3 \cdot \frac{Q \cdot (1 - \frac{W}{100})}{\rho_{\text{сп}} \cdot L_{\text{эф}} \cdot Z \cdot l_p \cdot \nu}, \quad (3)$$

де  $H_{\text{сп}}$  - товщина шару сухої речовини, мм;  $L_{\text{эф}}$  - ефективна довжина однієї площини різання, мм;  $Z$  - кількість площин різання або ножів на барабані, шт.;  $\nu$  - частота робочих ходів механізму подачі матеріалу на різання, або частота обертів барабана з ножами, с<sup>-1</sup>.

Попередні розрахунки виконані у відповідності з формулами (1) і (2) показали, що застосування подрібнювачів багатоплощинного різання на підбирачах-завантажувачах пров'ялених трав створює механіко-технологічні передумови зниження енергомісткості процесу на 50 % порівняно з барабанним подрібнювачем.

В процесі аналізу критичних зусиль різання матеріалу ножем розглядалися такі складові як зусилля руйнування структури матеріалу лезом ножа  $P_p$  та зусилля його попереднього стиснення фасками ножа  $P_{\text{ст}}$ , а також опір сил тертя  $T_b$ , що виникають на фасках ножа. Окремо аналізувалися сили тертя, зумовлені взаємодією матеріалу з боковою поверхнею дискових ножів.

При визначенні складової  $P_{ст}$  використовували метод запропонований В.А.Зябловим та В.Г.Брмачковим, в якому взаємодія фасок ножа з матеріалом розглядається як стиснення його клином. В розвиток цього методу застосовували робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що зона розповсідження деформації матеріалу за межами фасок ножа є функцією косинуса кута ковзання. Це дозволило визначити таку залежність для питомого критичного зусилля різання при повздовжньому переміщенні леза ножа відносно матеріалу:

$$P_{кр} = 2 \cdot \left\{ r \cdot \sin \tau \cdot \sigma_p + S \cdot \left[ 1 + 0,5 \cdot f \cdot \sin \beta_{тр} \right] \right\} \cdot \cos \delta, \quad (4)$$

де  $P_{кр}$  - питоме критичне зусилля різання, Н/мм;  $r$  - радіус кривизни поверхні ріжучої кромки ножа, м;  $\tau$  - кут тертя;  $\sigma_p$  - руйнівна напруга, Па;  $f$  - коефіцієнт тертя;  $\delta$  - кут ковзання;  $\beta_{тр}$  - трансформований кут загострення ножа.

Величина множника  $S$  із формули (4) дорівнює:

$$S = \frac{C}{A} \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \left( e^{A \cdot \left( \epsilon - \frac{r \cdot \sin \tau}{H \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right)} - 1 \right) - \epsilon \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha + r \cdot \sin \tau, \quad (5)$$

де  $A, C$  - емпіричні коефіцієнти, що характеризують фізико-механічні властивості матеріалу (по В.І.Особову);  $H$  - початкова товщина перерізуваного шару, м;  $\alpha$  - половинний кут загострення ножа (конструктивний);  $\epsilon$  - відносна деформація матеріалу.

Виконані по формулі (4) розрахунки показали, що опір матеріалу стисненню фасками ножа при нормальному різанні ( $\delta = 0$ ) становить до 80 % критичного зусилля різання. Така пропорція зумовлена значним розповсідженням деформації матеріалу за межами фасок ножа. Зменшення кута загострення ножа  $\beta$  і початкової товщини перерізуваного шару  $H$ , а також застосування різання з ковзанням ( $\delta > 0$ ), обмежує зону розповсідження деформації в матеріалі і дозволяє зменшити зусилля різання.

Залежність (4) застосовувалась також при визначенні енергосилових показників роботи дискових ножів. Розглядалися два випадки взаємодії елементарного клина  $a\delta b$  ріжучої кромки диска з матеріалом - при значенні кінематичного параметра  $\lambda = 1$  (пасивне обертання) і при  $\lambda > 1$  (примусове обертання). Величина  $\lambda$  визначалась як:

$$\lambda = \frac{V_k}{V_n},$$

де  $V_k$  - колова швидкість ріжучої кромки ножа, м/с;  $V_n$  - швидкість подачі матеріалу на різання, м/с.



хомими пластинчатими ножами. У випадку використання дискових ножів з примусовим обертанням зусилля різання найбільш інтенсивно зменшуються (в 4 рази) при збільшенні кінематичного параметру від 0 до 2.

Подальші теоретичні дослідження дозволили визначити, що більш доцільним, з точки зору енерговитрат на подолання сил тертя, що виникають на бокових гранях дисків, є застосування в одній площині різання суміжної пари дискових ножів. Причому, радіус дисків  $r_d$  повинен бути мінімально можливим за конструктивними міркуваннями, а величина їх заглиблення знаходиться в межах  $h = (0,08 \dots 0,09) \cdot r_d$ . Близькими до оптимальних були визначені режими роботи дискових ножів при яких  $\lambda = 1 \dots 2$ .

В третьому розділі "Програма і методика експериментальних досліджень" викладена програма лабораторних та польових досліджень. Приведені загальний вигляд і схеми відповідних експериментальних установок. Описані змінювані параметри та застосовані під час досліджень прилади. Наведено план експериментів та методи обробки одержаних даних.

Для підтвердження застосованих теоретичних положень та висновків програм експериментальних досліджень передбачалось:

- визначення фізико-механічних властивостей стеблових кормових матеріалів та питомої енергоємності їх різання ножем;
- дослідження впливу конструктивних і кінематичних параметрів подрібнювального апарату та основних технологічних факторів на енергосилові і якісні показники його роботи;
- визначення оптимальних значень досліджуваних параметрів, що забезпечують мінімальну енергоємність подрібнення рослинної маси з урахуванням необхідної довжини різки;

Дослідження виконувались методом послідовного планування з використанням однофакторних та багатофакторних експериментів. В останньому випадку зміна параметрів проводилась по стандартному плану другого порядку, що дозволило в результаті обробки експериментальних даних виразити закономірність зміни досліджуваних показників процесу у вигляді рівнянь регресії.

В четвертому розділі "Аналіз результатів експериментальних досліджень" узагальнені та проаналізовані результати експериментальної перевірки положень та висновків теоретичних досліджень, обґрунтовані оптимальні значення досліджуваних параметрів подрібнювача.

Встановлено, що на величину зусиль та енергоємності різання значно впливає товщина перерізуваного шару матеріалу, яка характеризується кількістю сухої речовини, що потрапляє в площину різання (ф. (3)). Одержані теоретичні залежності для визначення критичних зусиль різання адекватні дослідним даним з ймовірністю не менше 80 %. Однак, слід відзначити, що при збільшенні товщини шару сухої речовини понад 8 мм в реальному процесі слід чекати меншого приросту зусиль різання. Як свідчать результати дослідів Єрмачкова В.Г., це пояснюється тим, що кут загострення ножа при таких значеннях товщини перерізуваного шару не повною мірою характеризує величину зони розповсюдження деформації. Для цих випадків в роботі наводяться апроксимовані експериментальні залежності.

Встановлено також, що використання дискових ножів, працюючих в режимі пасивного обертання в потоці матеріалу, забезпечує зменшення зусиль різання в 1,4, 1,5 рази і енергоємності різання на 20...25 % порівняно з нерухомими пластинчастими ножами (рис. 3, 4). Збільшення радіуса дискового ножа від 210 мм до 290 мм не впливає значно на енергосилові показники процесу. Під час лабораторних досліджень не виявлено статистично вірогідного впливу товщини шару матеріалу на зусилля та енергоємність протитовхування його вздовж робочої камери (рис. 3, граф. 4). В усіх дослідях ці показники змінювались незначно і складали відповідно 0,28...0,34 МДж/т та 0,8...1,3 кН. Польові дослідження показали, що енергоємність переміщення маси в завантажувальному каналі при вологості маси  $W = 19\%$  знаходиться в межах 0,3...0,5 МДж/т.

В даному розділі роботи викладений також аналіз результатів багатofакторних досліджень, який дозволив встановити, що мінімальна енергоємність процесу різання дисковими ножами з примусовим обертанням забезпечується при значенні кінематичного параметру  $\lambda = 1,42$ , а зусилля різання інтенсивно знижуються при збільшенні  $\lambda$  і відповідний оптимум ( $R_x = 2,5$  кН) знаходиться на межі змінюваного інтервалу цього фактора. Причому, при використанні дискових ножів з зубчатих ріжучих кромкою зусилля різання додатково зменшуються у 1,2...1,8 рази порівняно з ножами ріжуча кромка яких гладка. Додаткові дослідження показали також, що напрям обертання дискових ножів, який збігається з напрямом подачі матеріалу на різання приводить до зниження енергоємності процесу на 20...30 % та підвищення горизонтальної складової зу-

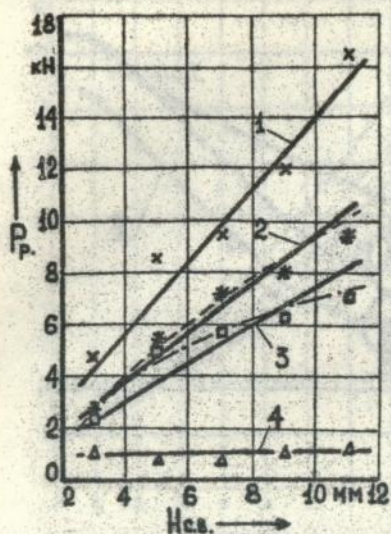


Рис. 3. Залежність зусиль різання від товщини перерізуваного шару  $H_{св}$ ; 1 - зусилля різання пластинчастим ножем з куту нахилу  $\delta_H = 25^\circ$ ; 2 - горизонтальна складова зусилля різання пасивними дисковими ножами; 3 - виглиблювальне зусилля, що діє на один диск; 4 - зусилля проттовхування матеріалу вздовж робочої камери;

" - - - - " експериментальні залежності;  
 " - - - - " теоретичні залежності

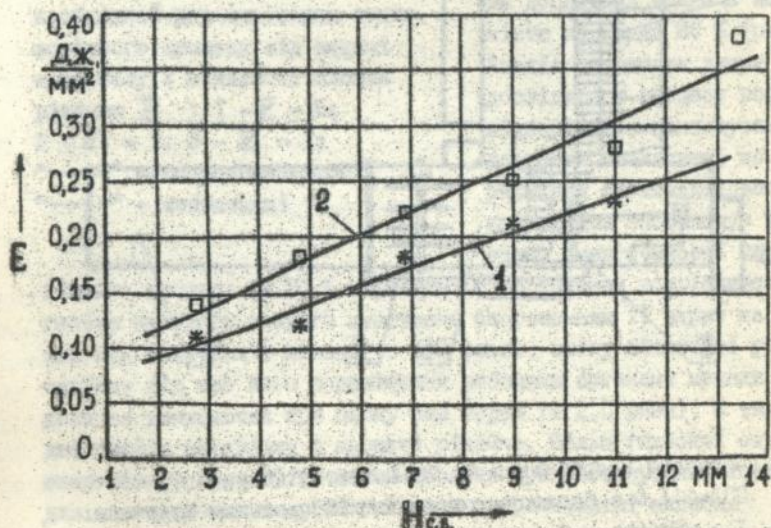


Рис. 4. Залежність питомої енергоємності різання від товщини перерізуваного шару  $H_{св}$  та конструкції ножів: 1 - дискові ножі; 2 - пластинчастий ніж з куту нахилу  $\delta_H = 25^\circ$

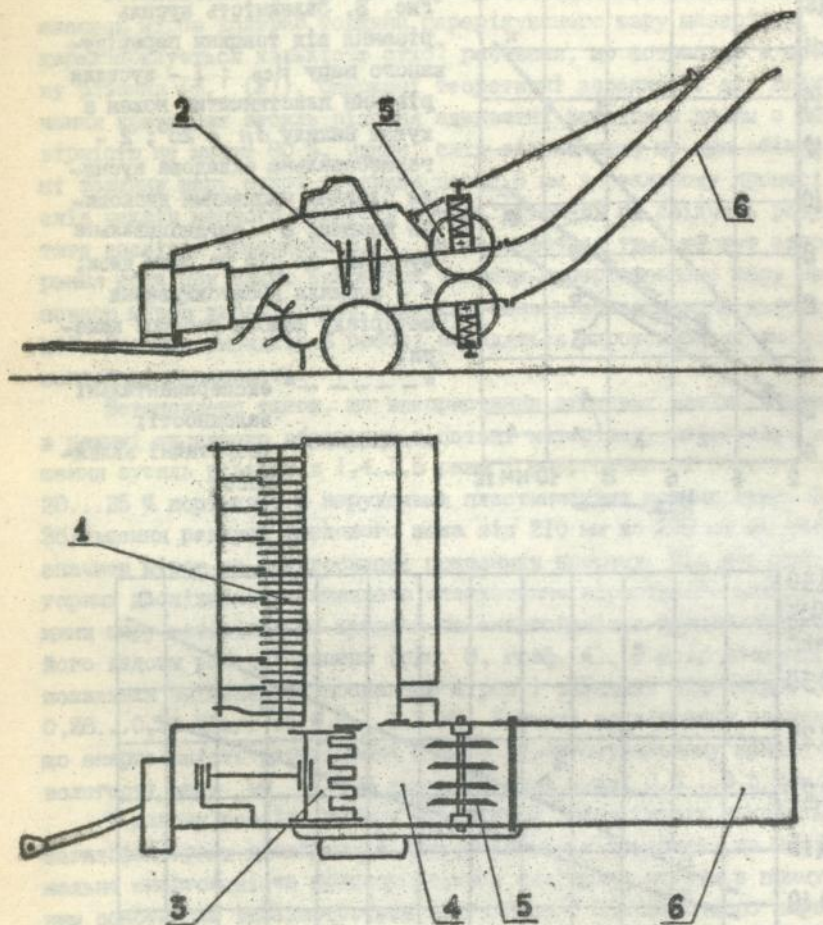


Рис. 5. Польовий подрібнювач на базі прес-підбирача ППЛ-5-1,6 з багатодисковим подрібнювальним апаратом:  
 1 - підбирач; 2 - поперечний живильник;  
 3 - механізм подачі матеріалу на різання;  
 4 - робоча камера; 5 - ріжучий механізм;  
 6 - завантажувальний канал

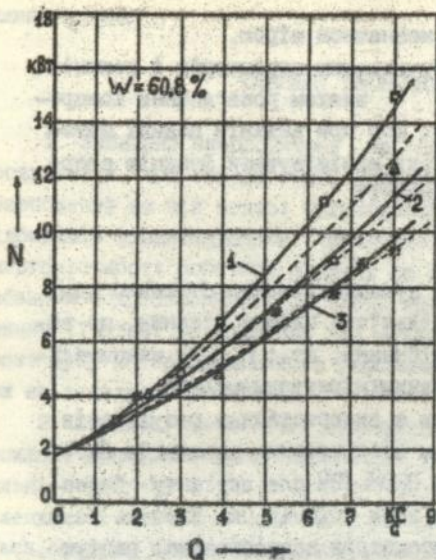


Рис. 6. Залежність потужності необхідної для виконання технологічного процесу від подачі матеріалу і кількості площин різання  $Z$  : 1 -  $Z = 5$ ; 2 -  $Z = 3$ ; 3 -  $Z = 1$ ;  
 "——" - експериментальні;  
 "----" - теоретичні

гічного процесу на 30 % порівняно з барабанним подрібнювачем. Загальна економія енергії зумовлена скороченням її втрат на холостий хід механізмів машини (в 1,8 рази), зміну кількості руху матеріалу під час його переміщення робочими органами машини та подолання виникаючих при цьому сил тертя (в 2,0 рази), а також на деформацію матеріалу в процесі різання. Більш глибокої економії енерговитрат (до 50 %) можна досягти при застосуванні конвейєра для завантаження подрібненої маси в транспортні засоби.

В процесі польових досліджень встановлено також, що при збільшенні вологості рослинної маси від 19 до 60 % енергоємність її подрібнення зменшується майже в 2 рази (від 1,0 до 0,54 МДж/т). В розрахунку на одиницю маси сухої речовини цей показник в

силля різання в 1,3...1,4 рази порівняно із зворотнім напрямком обертання.

Приводяться результати досліджень процесу роботи польового подрібнювача на базі прес-підбирача ПШ-Д-1,6 (рис. 5) обладнаного багатодисковим подрібнювальним апаратом, які показують, що потужність, необхідна для виконання технологічного процесу, зв'язана з подачею матеріалу квадратичною залежністю, а з довжиною різки - зворотно-пропорційною. Одержана теоретична залежність (I) з урахуванням експериментально визначеної величини  $E_{різ}$  адекватна дослідним даним з ймовірністю не менше 80 % (рис. 6). Аналіз одержаних даних по дослідженню процесу роботи підбирачів-завантажувачів дозволив визначити, що використання багатодискового подрібнювача забезпечує зменшення енергоємності техно-

зазначеному інтервалі змінюється незначно міром.

Визначення оптимальних конструктивних параметрів і режимів роботи подрібнювача виконувалось шляхом розв'язання компромісної задачі, яка полягає в тому, щоб при заданій подачі матеріалу в залежності від довжини різки мінімізувати функцію енерговитрат за умови виконання нерівності:

$$\sum R_x \leq F_{\max},$$

де  $R_x$  - горизонтальна складова зусилля різання стосовно однієї площини різання, кН;  $Z$  - кількість площин різання, що забезпечують необхідну ступінь подрібнення, шт.;  $F_{\max}$  - максимальне зусилля різання (за конструктивними міркуваннями), кН.

Ця задача розв'язувалась нами з використанням результатів багатофакторних досліджень методом невизначених множників Лагранжа. Розрахунки виконувались на ПЕОМ IBM для варіанту "прес-підбирач". Це дозволило визначити зони оптимальних значень таких конструктивних та кінематичних параметрів подрібнювача: радіус дискових ножів - 240 мм; виконання ріжучої кромки-гладка при використанні пасивних дискових ножів та зубчата з кутом нахилу зубів до дотичної кола диска  $\alpha_3 = 1,05$  рад у випадку їх примусового обертання; режими роботи дискових ножів: а) при довжині різки менше 120 мм - пасивне обертання в потоці матеріалу; б) при довжині різки більше 120 мм - примусове обертання по ходу подачі матеріалу з кінематичним параметром  $\lambda = 1,4 \dots 2,0$ .

У п'ятому розділі приведені результати виробничої перевірки, економічна ефективність впровадження, підтвержені висновки теоретичних та експериментальних досліджень.

Виробнича перевірка експериментального подрібнювача проводилась в сільськогосподарському виробництві УАН та радгоспі "Літківський" (обидва Київської області) в складі технологічної лінії заготівлі подрібненого сіна.

Економічна ефективність визначалась у порівнянні з кормозбиральним комбайном КПІ-2,4. Розрахунки виконувались по методиці викладеній у відповідних нормативних документах. Було встановлено, що використання багатодискового подрібнювача на підбирачах-завантажувачах пров'ялених трав забезпечує зниження приведених витрат - на 48 %, а питомих капіталовкладень - на 33 % порівняно з базовим варіантом. Оцікуваний економічний ефект від впровадження (в цінах 1991 року) становить - 3281 крб. на одну

машину в рік.

### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Зниження енерговитрат на подрібнення пров'ялених трав досягається при використанні принципів багатоплощинного різання. Розроблений на цій основі багатодисковий подрібнювальний апарат підбирачів-завантажувачів рослинної маси забезпечує зниження енергомісткості робочого процесу на 30 відсотків порівняно з багатодисковим подрібнювачем. Загальна економія енергії зумовлена зниженням її втрат на холостий хід механізмів машини, зміну кількості руху матеріалу та його деформацію в процесі різання, а також на подолання сил тертя.

2. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначати енергосилові показники багатоплощинного різання та обґрунтувати оптимальні параметри і режими роботи подрібнювального апарату. Аналіз залежностей показує, що зусилля різання значною мірою визначаються опором, який чинить матеріал при стисненні його фасками ножа. Зменшення кута заточки ножа, товщини перерізуваного шару та використання різання з ковзанням обмежує величину зони розповсюдження деформації матеріалу за межами фасок ножа, що дозволяє зменшити його опір стисненню, а відповідно і зусилля різання.

3. Реалізація режимів різання з ковзанням шляхом використання пасивних дискових ножів дозволяє зменшити зусилля різання в 1,4...1,5 разів порівняно з похилим різанням пластинчастими ножами. При примусовому обертанні дисків найбільш інтенсивне зниження зусиль різання (в 4 рази) забезпечується при збільшенні кінематичного параметру  $\lambda$  від 0 до 2. Додаткове зменшення зусиль різання досягається при використанні дискових ножів із зубчатою ріжучою кромкою, але енергомісткість процесу в цьому разі збільшується. Напрямок обертання дисків, який відповідає напрямку руху матеріалу в зоні різання, забезпечує зменшення енерговитрат на 20...30 відсотків порівняно із зворотнім напрямком обертання. Енергетичний мінімум при примусовому обертанні дискових ножів досягається при значенні кінематичного параметру  $\lambda = 1,42$ .

4. При збільшенні товщини структурної частини перерізуваного шару від 3 до 11 мм зусилля різання пластинчастими ножами з кутом нахилу до напрямку подачі матеріалу  $\gamma = 25^\circ$  зростають в 3 рази і

складають в середньому 16,6 кН. За аналогічних умов, горизонтальна складова зусилля різання суміжною парою пасивних дискових ножів з конструктивним радіусом  $r = 210$  мм і величиною заглиблення  $h = 168$  мм збільшується пропорційно товщині перерізаного шару від 2,9 кН до 9,5 кН, а виглиблювальне зусилля зростає від 4,4 кН до 6,9 кН. Питома енергоємність різання також пропорційна товщині перерізаного шару і в досліджуваному діапазоні складає  $0,11 \dots 0,23$  Дж/мм<sup>2</sup>. На зусилля тертя, що виникають на поверхні стінок робочої камери, товщина перерізаного шару не впливає значною мірою. Під час попереднього стиснення рослинної маси та її прошовування вздовж вивантажувального каналу довжиною 1,5 м ці зусилля знаходяться в межах  $0,8 \dots 1,3$  кН з окремими максимальними значеннями в 1,9 кН.

5. Потужність, необхідна для виконання технологічного процесу підбирання-подрібнення-завантаження рослинної маси, зв'язана з подачею квадратичною залежністю а з довжиною різки в досліджуваному діапазоні - зворотнопропорційною. Складова загальної потужності, яка необхідна для подрібнення матеріалу багатодисковим подрібнювачем при 5 площинах різання, не перевищує 5 кВт (питома енергоємність подрібнення -  $0,6$  кДж/кг), а енерговитрати на транспортування рослинної маси допоміжними робочими органами становлять в середньому  $1,0$  кДж/кг.

6. При збільшенні вологості рослинної маси від 19 до 60 відсотків енергоємність її подрібнення зменшується в 2 рази, що зумовлено зменшенням кількості сухої речовини в матеріалі структури якої потрібно зруйнувати. В розрахунку на одиницю маси сухої речовини, цей показник має слабо виражений максимум при вологості  $W = 31\%$ , що пояснюється підвищенням руйнівної напруги за рахунок більшої еластичності структурних волокон рослин та їх кращої орієнтації в напрямку діючих зусиль при таких значеннях вологості трав'яної маси.

7. Оптимальні параметри подрібнювача складають: виконання ріжучих елементів - у вигляді дискових ножів; кількість ножів в одній площині різання, шт - 2; радіус дискових ножів, мм - 240; величина заглиблення ножів, мм - 195; товщина ножів, мм -  $4 \dots 6$ ; кут заточки, град -  $30 \dots 35$ ; товщина ріжучої кромки, мм -  $0,10 \dots 0,16$ ; виконання ріжучої кромки - гладка при використанні пасивних дискових ножів і зубчата з кутом нахилу вершин зубів до дотичної

кола диска  $\alpha_3 = 1,05$  рад при примусовому обертанні дисків; режими роботи дискових ножів: а) при довжині різки більше 120 мм - пасивне обертання в потоці матеріалу; б) при довжині різки менше 120 мм - примусове обертання по ходу подачі матеріалу з кінематичним параметром  $\lambda = 1,4...2,0$ .

8. Підбирач-завантажувач рослинної маси з багатодисковим подрібнювальним апаратом забезпечує продуктивність праці при збиранні пров'ялених трав в межах 15...27 т/год, що на 45 % більше ніж кормозбиральний комбайн КПІ-2,4. Середньозважена довжина подрібнених часток та однорідність їх складу відповідають вихідним вимогам на машини для заготівлі подрібненого сіна і не поступаються аналогічним показникам роботи існуючих подрібнювачів.

9. Впровадження у виробництво багатодискового подрібнювача підбирачів-завантажувачів пров'ялених трав забезпечує зниження приведених витрат на 48 %, питомих капіталовкладень на 33 % порівняно з кормозбиральним комбайном КПІ-2,4. Очікуваний економічний ефект на одну машину (в цінах 1991 року) становить 3281 карбованців в рік.

Основні положення дисертації викладені в роботах:

1. Яроцький В.А. Енергетичний та економічний аналіз польових подрібнювачів для заготівлі кормів із трав (рос. мовою) // Енергозберігаючі технології виробництва, заготівлі і зберігання кормів : Тез. доп. республіканської науково-техн. конф., вересень, 1988 р. - Вінниця, 1988. - С. 50.

2. Яроцький В.А. Енергозберігаючі технології заготівлі сіна (рос. мовою) // Енергозберігаючі технології в сільськогосподарському виробництві : Тез. доп. всесоюзної науково-техн. конф., травень, 1990 р. - Москва, 1990. - С. 69.

3. Яроцький В.А. Модернізований прес-підбирач ПШ-Ф-І,6 (рос. мовою) // Перелік раціоналізаторських пропозицій і прогресивних технологічних рішень рекомендованих для впровадження в с.-г. виробництво / Серія "Механізація і електрифікація сільськогосподарського виробництва". - № 603. - вип. І. - Київ. - С. 4-5.

4. Яроцький В.А. Енерговитрати на подолання сил тертя при різних режимах роботи дискового ножа / Механізація та електрифікація сільського господарства. - Київ: 1991. - вип. 73. - С.5-8.

5. Яроцький В.А. Модернізація прес-підбирача ПШ-Ф-І,6 / Тваринництво України. - 1991, № 3. - С. 20-21.

6. Яроцький В.А. Обґрунтування режимів роботи ріжучого механізму з дисковими ножами при подрібненні стеблових кормових матеріалів / Механізація та електрифікація сільського господарства. - Київ: 1992. - вип. 75. - С. 26-28.

7. А.с. № I685304 (СРСР). Пристрій для подрібнення стеблових матеріалів / Яроцький В.А., Мельников А.Г., Голоцапов В.С. - Заявлено 21.02.1990, № 4793250. - Опубл. в Б.И., 1991, № 39.

8. Позитивне рішення ВНДІДПЕ про видачу авторського свідоцтва по заявці на винахід № 4927054/15 "Прес-підбирач" (рос. мовою) / Яроцький В.А. - 1991 р..

---

Підписано до друку 14.05.93. Формат 60x84 1/16. Папір офсетн.  
Офсетний друк. Ум.друк.арк. 1,16. Тираж 200 прим. Зам. 1048в.

---

ВНП корпорації УкрНТІ, 252171 Київ 171, вул. Горького, 180.



1165000

AB 27.723