

УДК 631.352

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ РОБОТИ КОТКА-ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ РЕШТОК

Богатирьов Д.В., к.т.н., докторант*

Кіровоградський національний технічний університет

Тел. (0522) 39-04-87

Анотація – напрям розробки та вдосконалення сільськогосподарських машин для подрібнення рослинних решток в Україні є маловивченим, але актуальним. Представлено спробу аналітичного визначення енергоємності процесу роботи для технічних засобів для подрібнення рослинних решток з горизонтальною віссю обертання безприводних робочих органів.

Ключові слова – коток-подрібнювач, стебла, довжина, рослинні рештки, енергоємність.

Постановка проблеми. Запровадження мінімальних і нульових технологій обробітку ґрунту, прямої сівби передбачають виконання нових технологічних операцій. До таких операцій відноситься підготовка стану поверхні поля до обробітку чи прямої сівби – мульчування чи подрібнення рослинних решток сільськогосподарських культур – соняшнику, кукурудзи та інших. Відомі імпорتنі машини аналогічного призначення виробництва Канади, Аргентини, Італії оснащені активними робочими органами з приводом від ВВП, горизонтальним та вертикальним розташуванням осей їх обертання. Але вони мають досить суттєвий недолік – не подрібнюють рослинні рештки, які лежать на поверхні поля, особливо в міжряддях. Більш ефективними у цьому випадку є спеціальні котки, робочими органами яких є барабани з ножами [1-6]. Подрібнювачі рослинних решток з'явилися на полях України менше десяти років тому. Питання економії палива є актуальною проблемою у сільськогосподарському виробництві, тому пошук шляхів теоретичного визначення енергоємності процесу подрібнення є першочерговим і актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Суттєвий внесок у дослідження процесу перерізування стебел рослин лезом ножа внесли В.П. Горячкін, М.М. Летошнєв, Є.М. Гутьяр, Г.А. Хайліс, Є.С. Босой, В.А. Резчиков, М.Є. Резнік, Я.С. Гуков, П.В. Сисолін, В.М. Сало, М.К. Лінник. Але ці дослідження зроблені переважно для соломорізок, косарок,

© Богатирьов Д. В.

* Науковий консультант – д.т.н. Сало В.М.

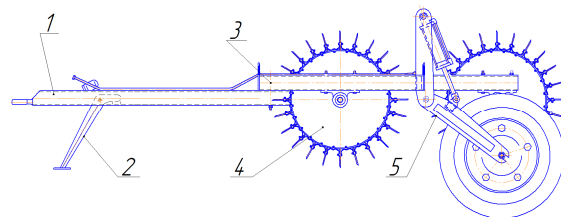
жниварок або фрезерних ґрунтообробних органів. Говоров О.Ф. спробував визначити енергію, що передається від ножа до стеблини лише для подрібнювачів рослинних решток з вертикальною віссю обертання.

Активно вивчають вплив конструктивних параметрів котків-подрібнювачів на процес роботи науковці Національної лабораторії ґрунту університету штату Алабама (США) D.L Ashford, Andrew J. Price, Ted S. Kornecki, Landy R. Raper [2, 3]. Основний напрям їх досліджень направлений на оптимізацію параметрів котків-подрібнювачів та технології (агростроків) щодо їх використання. Але теоретичні напрацювання щодо визначення енергетичних витрат машинами даного типу відсутні.

Науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету у співробітництві з Культиваторним заводом ПрАТ «Кіровоградлітмаш» створено експериментальний зразок котка-подрібнювача КП-4,5 (рис. 1), який в якості робочих органів має циліндричні котки з розміщеними на їх поверхні плоскими ножами [4, 5]. Подрібнення рослинних решток технічними засобами з безприводними робочими органами відбувається в результаті їх перебивання ножами після притискання їх до ґрунту [7, 8].



а



б

Рис. 1. Загальний вигляд (а) та схема (б) котка-подрібнювача КП 4-5: 1 – сниця; 2 – опора; 3 – рама; 4 – робочий орган; 5 – гідрофікований механізм переведення машини у транспортне положення

Мета дослідження полягає у теоретичному визначенні енергетики процесу подрібнення рослинних решток безприводними робочими органами.

Завдання дослідження: теоретично дослідити вплив параметрів ножа на енергоємність процесу.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження є тех-

нологічний процес подрібнення рослинних решток технічними засобами з безприводними робочими органами. Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів і режимів роботи подрібнювачів рослинних решток на енергетичні показники. Аналітичні дослідження проводились методом розробки і аналізу математичних моделей взаємодії робочих органів подрібнювача з рослинними рештками на основі законів механіки та прийомів математичного аналізу.

Основна частина. Основним критерієм процесу перерізання рослин та їх стебел прийнято питому енергоємність [5, 6]. Розглянемо процес роботи котка-подрібнювача. Під час руху агрегату циліндричні котки з розміщеними на їх поверхні плоскими ножами спочатку притискають стебла до ґрунту, а потім перерізають під дією власної ваги. Процес різання починається при значенні кута нахилу ножа γ в межах $0^\circ \dots 45^\circ$, а при збільшенні кута – рослинні рештки не перерізаються, причому енергія витрачається лише на тертя ножа по по ним. При значенні кута $\gamma=0^\circ$ сила різання набуває найбільшого значення. На першому етапі теоретичних досліджень варто встановити поведінку функції питомої енергії в інтервалі граничних значень кута γ , а також уточнити сам інтервал.

Розглянемо як залежать сили різання від кута нахилу ножа γ . Ніж закріплений на барабані котка (рис. 2) переміщується у матеріалі (деякій кількості стеблин) паралельно ребру AE під змінним кутом γ .

Тоді силу для переміщення ножа можна представити у вигляді суми проєкцій на напрям руху ножа від сил: діючих на фаску $ABCD$ (сила P_1), на різальну кромку AD (сила P_2) та на плоску грань $AEKD$ (сила P_3)

$$P_1 = N_1 \cdot \cos \gamma + (F_{mp} - F_1) \cdot \sin \gamma \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{(F_{mp} - F_2) \cdot \sin \gamma + N_2 \cdot \cos \gamma}{\sin \beta} \quad (2)$$

$$P_3 = N_3 \cdot f_3, \quad (3)$$

де N_1, N_2, N_3 – сили нормального тиску відповідно: на фаску, різальну кромку та плоску грань ножа, Н;

f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти тертя стебла (рослинної рештки) відповідно: по фасці, різальній кромці та плоскій грані ножа;

β – кут загострення ножа, град;

F_{mp} – зусилля, що передається від трактора, Н.

Під час виконання процесу подрібнення стебел енергія витрачається на попереднє стискання матеріалу (A_{C1}, A_{C2}, A_{C3}), на подолання сил опору, тобто сам процес різання (A_{P1}, A_{P2}, A_{P3}) та на подолання опору повітря. Так як у процесі різання приймають участь фаска, різальна кромка та плоска грань ножа, тоді загальну роботу ножа можна представити у вигляді суми

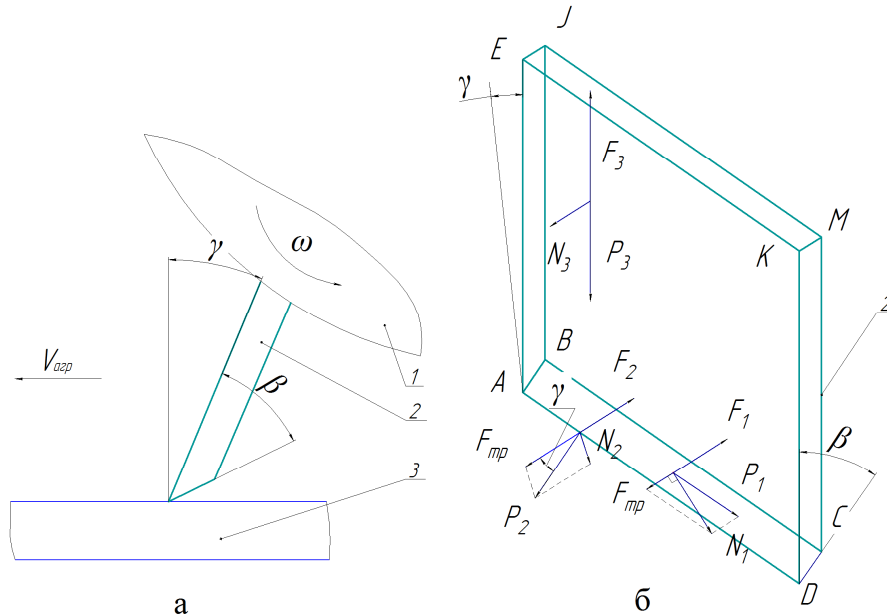


Рис. 2. Розрахункова схема: а – схема руху котка-подрібнювача; б – схема сил, що діють на ніж; 1 – коток; 2 – ніж; 3 – стебло рослини (рослинна рештка)

$$A = z \cdot (A_{P1} + A_{C1} + A_{C2} + A_{P2} + A_{C3} + A_{P3}) + A_0, \quad (4)$$

де z – кількість ножів, шт.;

A_{C1}, A_{C2}, A_{C3} – робота ножа на попереднє стискання матеріалу, відповідно фаскою, різальною кромкою та плоскою гранню ножа, Дж;

A_{P1}, A_{P2}, A_{P3} – робота ножа на подолання сил опору матеріалу, відповідно фаскою, різальною кромкою та плоскою гранню ножа, Дж;

A_0 – робота на подолання котком сили опору повітря, Дж.

Робота ножа на попереднє стискання матеріалу, буде збільшуватись при підвищенні зусилля на різання [6]

$$A_c = \int P_c(S_1) dS_1, \quad (5)$$

де $P_c(S_1)$ – зусилля ножа необхідне на попереднє стиснення матеріалу в залежності від переміщення ножа, Н;

dS_1 – переміщення ножа, м.

Зусилля необхідне на попереднє стиснення матеріалу в залежності від переміщення ножа визначимо за допомогою формули В.П. Горячкіна [9]

$$P_c = K \cdot S_1,$$

де K – інтенсивність навантаження, при якому відбувається різання (питомий опір різанню), Н/м [10];

S_1 – переміщення ножа, м.

В момент прикладання леза до стебла (початок процесу подрібнення) зусилля на стискання дорівнює силі перерізування.

Тоді роботу (5) можна виразити [с]

$$A_c = \frac{P_c^2}{2 \cdot K_1}$$

Витрати енергії на перерізання одиниці площі поперечного перетину матеріалу (енергетику процесу різання) визначимо за допомогою питомої енергоємності E

$$E = \frac{A}{S_m} \quad (6)$$

де S_m – площа матеріалу, яка піддається різанню, m^2 .

Площею S_m будемо вважати суму площин поперечних перетинів стебел рослин або їх решток, яка знаходиться у площині різання. Під час обертання котка з ножами розташування на поверхні поля стебел та решток рослин є хаотичним. Кількість стебел та решток, які одночасно піддаються різанню, знаходиться в межах від 1 до m штук

$$S_m = \sum_{i=1}^m S_{m_i}$$

Проведемо моделювання зміни складових рівняння (4) в залежності від кута нахилу ножа γ . Питому енергію необхідну для стиснення матеріалу визначимо за допомогою формули (6)

$$E_c = \frac{P^2}{2 \cdot K \cdot S_m}, \quad (9)$$

$$E = \frac{P}{d_c \cdot \cos \gamma}, \quad (10)$$

де d_c – діаметр стеблини, м.

Аналізуючи графічні залежності (рис. 3), отримані в результаті проведених числових досліджень впливу кута γ на зусилля та роботу з використанням пакету прикладних програм, встановлено, що сила P_1 , яка діє зі сторони фаски ножа при збільшенні кута γ зменшується завдяки збільшенню дії кута загострення ножа β , тобто поступово зменшується до значення сили тертя. Сила P_2 при кутах нахилу до 30° ($\frac{\pi}{6}$) збільшується на 12%, а потім зменшується до значення сили тертя. Вплив кута γ на значення сили P_3 – відсутній. На процес різання суттєво впливає характер зміни сумарного зусилля, особливо від співвідношення P_1 та P_2 . Якщо зусилля P_1 переважає над P_2 , то загальне зусилля в значній мірі залежатиме від P_1 і навпаки, якщо $P_2 > P_1$.

Експериментально неможливо отримати значення сил P_1 , P_2 , P_3 окремо. Тому завжди виникає розкид значень результатів дослідів при кутах нахилу γ 10° - 70° , де залежність між P_1 та P_2 є найбільшою.

Питома енергоємність (E_c) попереднього стиснення змінюється наступним чином: від зусилля P_1 P_2 монотонно зменшується зі збільшенням кута γ ; зусилля P_3 зберігає однакове значення протягом повного оберту барабана з ножами (рис. 4).

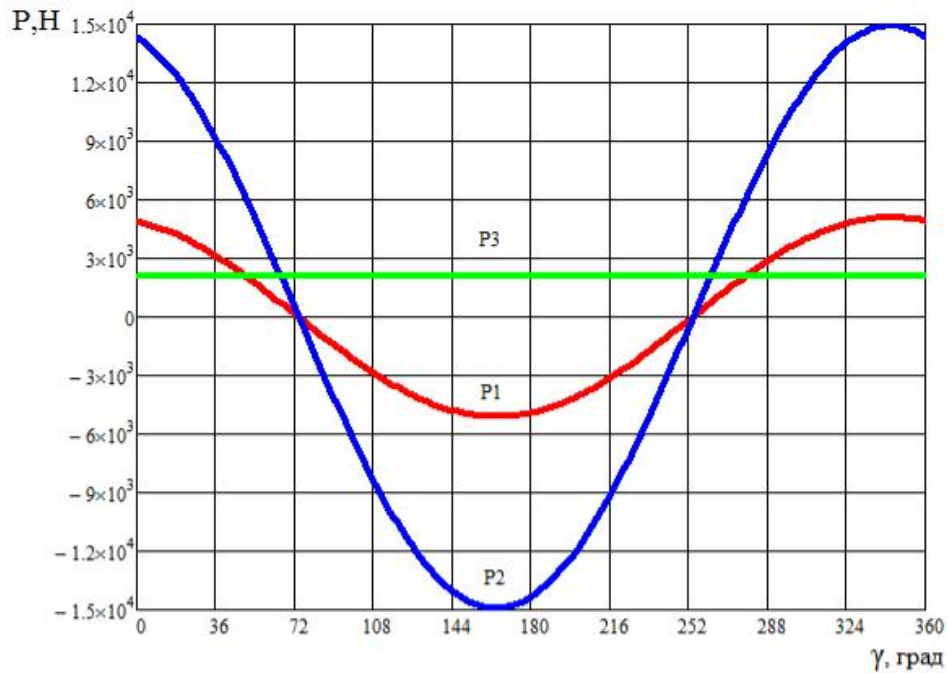


Рис. 3. Залежність складових сил різання (P_1 , P_2 , P_3) від значення кута γ

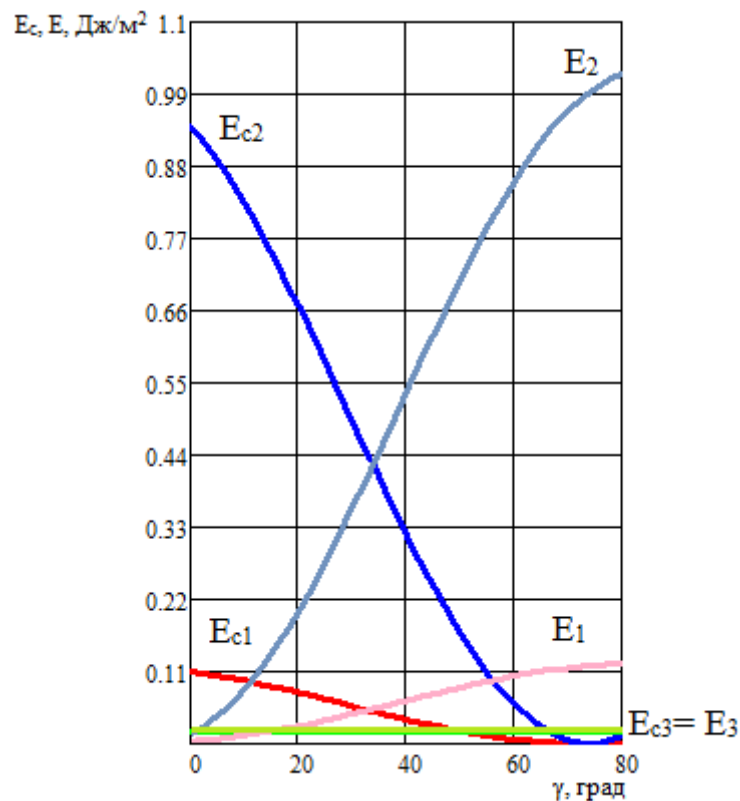


Рис. 4. Залежність питомої енергоємності (E_c) та (E) від кута γ

Висновки. Характер впливу зусилля різання залежить від співвідношення сил, що діють на фаску та різальну кромку ножа. Встановлено що питома енергоємність може знижуватися при кутах нахилу но-

жа 25°-40° в результаті зменшення витрат енергії на попереднє стиснення матеріалу. Основним фактором, що впливає на підвищення питомої енергоємності різання ножами з кутом нахилу більше 40°, є зростання питомих енергетичних витрат на тертя ножа по матеріалу.

Наступним етапом дослідження мають стати питання надійності і якості виконання технологічного процесу в різних ґрунтово-кліматичних зонах та природних умовах.

Література

1. *Говоров О.Ф.* Машини для скошування і подрібнення рослин або їх решток і розподілення частинок по поверхні ґрунту / *О. Ф. Говоров, Я. С. Гуков, В. К. Мойсеєнко* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2010. – Вип. 94. – С. 29-48.

2. *Ashford D.L.* Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crop / *D.L. Ashford, D.W. Reeves.* // *American Journal of Alternative Agriculture* – 2003. – 18(1) – P. 37-45.

3. *Korniecki T.S.* Perfomance of Different Roller Designs in terminating rye cover crop and reducing vibration / *T.S. Korniecki, A.J. Price* // *Aplied Eng. Agric – Alabama, USA* – 22(5) – P. 633-641.

4. *Сало В.М.* Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / *В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Леценко, М.І. Савицький* // *Техніка і технології АПК.* – Дослідницьке: УКРНДППВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – №10 (61) – С. 16-19.

5. *Богатирьов Д.В.* Обґрунтування перспективних напрямів конструкцій подрібнювачів рослинних решток / *Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, В.І. Носуленко, Д.В. Мартиненко* // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць.* – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 42. – С. 39-44.

6. *Богатирьов Д.В.* Аналіз господарських випробовувань котка-подрібнювача рослинних решток соняшника / *Д.В. Богатирьов, В.М. Сало* // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.* – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч. 1 – С. 12-17.

7. Пат. 83199 Україна, МПК А01В 29/04, А01D 43/00 (2006.01) Коток подрібнювач рослинних решток / *Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В., Мачок Ю.В., Лузан О.Р.*; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- №u201303722 заявл. 26.03.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. №16.

8. Подрібнювач рослинних решток КП-4.5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.savitskiy.com.ua/>.

9. *Ковалев Н.Г.* Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / *Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев.* – М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. – 208 с.

10. *Карпенко М.И.* Энергоёмкость процесса резания стебельчатых

материалов / *М.И. Карпенко, В.Е. Поединок* // Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин. Общегосударственный межведомственный научно-технический сборник. – Кировоград, 1989. – Вып. 18. – С. 28-29.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ
ПРОЦЕССА РАБОТЫ КАТКА-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ**

Д.В. Богатырёв

Аннотация – направление разработки и совершенствования сельскохозяйственных машин для измельчения растительных остатков в Украине есть малоизученным, но очень актуальным. Представлена попытка аналитического определения энергоёмкости процесса работы катка-измельчителя растительных остатков.

**ANALYTICAL DETERMINATION OF THE ENERGY INTENSITY
OF THE PROCESS OF WORK-SKATING RINK CHOPPERS
RESIDUES**

D. Bohatyrov

Summary

The direction of development and improvement of agricultural machines for crushing plant in Ukraine remains little known but very important. An attempt analytical determination process energy intensity of knife roller plant residues.