

УДК 631.361; 635.6

## БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ЗЕРНОВОЇ ДРОБАРКИ

Ялпачик О.В., інженер,

Буденко С.Ф., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – робота містить результати теоретичних досліджень з встановлення балансу потужності і прогнозування коефіцієнта корисної дії подрібнювача концентрованих кормів у залежності від ступеня подрібнювання зернової маси.

**Ключові слова** – подрібнювання зерна, баланс потужності, ступінь подрібнювання, робота подрібнювання, ККД.

*Постановка проблеми.* Із усього різноманіття існуючих способів переробки кормів найбільше застосування одержала механічна технологія готування кормів, у якій найпоширенішим і важливим процесом є подрібнювання, обумовлене зоотехнічними вимогами відгодівлі тварин.

Відомо, що живильні речовини, присутні у кормах, засвоюються організмом тварини тільки в розчинному виді, а швидкість обробки часток корму шлунковим соком прямо пропорційна площі їх поверхні. У результаті подрібнювання корму утворюється безліч часток з високорозвиненою поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення і підвищенню засвоюваності живильних речовин.

Подрібнювання є одним з найбільш енергоємних процесів при переробці фуражного зерна на корм худобі і птиці. Рациональний розмір часток зерна, тобто ступінь подрібнення зернової маси для кожного виду тварин регламентується відповідними зоотехнічними вимогами.

На даний час у кормоприготуванні застосовуються різні за принципом дії і конструктивному виконанню, в основному, молоткові дробарки. При тонкому подрібнюванні ці дробарки дають до 30 % пилоподібної фракції, а при грубому до 20 % недоподрібненої фракції.

Проблема економії енергії, підвищення коефіцієнта корисної дії була, є і буде завжди актуальною, особливо на даний час, коли частка вартості енергоносіїв у калькуляції собівартості кормів продукції тваринництва постійно зростає.

*Аналіз останніх досліджень.* Основи теорії подрібнювання були закладені В.Л. Кирпичевим, Ф. Кіком, Ф. Бондом, П.А. Ребіндером. У середині та в кінці ХХ сторіччя вагомий вклад у теорію і практику внесли вчені школи ЛСГІ, яку очолював С.В. Мельников.

За останні роки в Україні, Росії та країнах ближнього зарубіжжя був захищений ряд кандидатських і докторських дисертацій, тим чи іншим чином присвячених вдосконаленню конструкцій машин та технологічного процесу подрібнювання кормів.

Достатньо великий об'єм досліджень за виявленням закономірностей процесу дроблення провели вчені ТДАТУ (на той час МІМСГ, ТДАТА), ця робота не припиняється і продовжується, в тому числі і авторами даної публікації.

*Метою даної публікації* є одержання на основі теоретичних досліджень прогнозованих значень коефіцієнта корисної дії процесу подрібнення зерна на дробарці прямого удару.

*Основна частина.* Згідно з висновками всіх учених, які досліджували енерговитрати процесу подрібнювання тієї чи іншої кормової суміші, потужність, потрібна для привода подрібнювача, розглядалася як сума окремих складових.

Так, наприклад, за даними [2] баланс потужності для сталого режиму роботи подрібнювача кормів можна представити наступним рівнянням:

$$P = P_{nd} + P_{ev} + P_{ta} + P_{mn} + P_{mv} + P_{np} + P_{nt}, \quad (1)$$

де  $P_{nd}$  - потужність, потрібна на подрібнення;

$P_{ev}$  - потужність на циркуляцію маси (вентиляційні втрати);

$P_{ta}$  - потужність транспортування маси в самому апараті;

$P_{mn}$  - потужність подачі матеріалу до апарата;

$P_{mv}$  - потужність відведення продукту від апарата;

$P_{np}$  - потужність на подолання опору в передачах привода;

$P_{nt}$  - потужність на подолання опору в транспортерах.

Дане вираження має загальний характер і, в залежності від конкретної конструкції дробарки, воно може змінюватись, як правило, в сторону спрощення (наприклад, при відсутності транспортуючих пристроїв на завантаженні і вивантаженні).

Так, для зернової пальцевої дробарки з вертикальною віссю ротора, яка не має додаткових пристроїв навантажування і розвантажування з урахуванням наведеної в [1] потужності холостого ходу ( $P_{x.x}$ ) баланс потужності буде мати вигляд:

$$P = P_{nd} + P_{вв} + P_{та} + P_{np} + P_{x.x} \quad (2)$$

У даному рівнянні найбільший інтерес представляє значення першого доданку –  $P_{nd}$

При відомій продуктивності дробарки  $Q$  (кг/с) потужність, яка потрібна на реалізацію процесу подрібнення, за формулою С.В. Мельникова [1] може бути визначена як:

$$P_{nd} = Q \cdot A_{nd} \quad (3)$$

де  $A_{nd}$  - питома робота подрібнювання, Дж/кг.

С.В. Мельников в [1] для визначення питомої роботи подрібнювання стеблових кормів наводить спрощену формулу:

$$A_{nd} = C(\lambda - 1), \quad (4)$$

де  $C$  - об'єднаний коефіцієнт, який враховує умови дроблення;  
 $\lambda$  - ступінь подрібнення матеріалу.

За загальною методикою [1] за ступінь подрібнення  $\lambda$  прийнято приймати відношення середнього діаметра шматка вихідного матеріалу  $D$  до середнього розміру  $d$  часток продукту подрібнення.

$$\lambda = D/d \quad (5)$$

При визначенні ступеня подрібнення зерна сільськогосподарських культур їх розміри характеризують величиною еквівалентного діаметра зернівки  $D_e$ , тобто діаметр кулі, об'єм якої дорівнює дійсному об'єму зернини.

У таблиці 1, складеній за даними [1], наведені дані по крупності часток і ступеню подрібнення для зерна ячменю з еквівалентним діаметром 4,2 мм при щільності 1300 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1 – Ступінь подрібнення і питома площа поверхні ячмінної дерті

Показник		Модуль помелу:			
		надмілкий	мілкий	середній	крупний
Крупність часток $d_{cp}$ , мм		0,2	1,0	1,8	2,6
Ступінь подрібнення $\lambda$		21,0	4,2	2,3	1,6
Питома площа поверхні $S_k$	м <sup>2</sup> /кг	23,0	4,6	2,5	1,8
	м <sup>-1</sup>	$30 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$

При подрібненні кормів на решітних молоткових дробарках регулятором тонкості помелу служить решето, встановлене в дробильній камері. Абсолютні значення ступеня подрібнення зерна злакових культур за даними [1] в залежності від діаметра отвору решета представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Ступінь подрібнення у решітних зернових дробарках

Діаметр отвору решітки, мм	10	6	3	2
Ступінь подрібнення $\lambda$	1,5...1,6	2,0...2,4	5...7	8,4...9,7

Таким чином, можна констатувати, що при подрібненні зернових кормових сумішей слід приймати в якості розрахункових значень ступеня подрібнення в межах 1,5...5 і як граничні значення  $\lambda = 10$ .

Для об'єктивної оцінки значення питомої роботи подрібнення і коефіцієнта корисної дії процесу скористаємось основним законом подрібнення у наступному вигляді [3]:

$$A_{nd} = C_{np} (A_v + A_s), \quad (6)$$

де  $C_{np}$  - коефіцієнт, який характеризує фактори процесу;

$A_v$  - робота, витрачена на деформацію тіла, що руйнується;

$A_s$  - робота, витрачена на створення нових поверхонь.

Коефіцієнт  $C_{np}$  залежить від конструктивних особливостей подрібнювача і виражає кореляційний зв'язок між теоретичними і дійсними витратами енергії.

З метою знаходження значення коефіцієнта  $C$  з формули (3) запишемо формулу (6) у наступному вигляді:

$$A_{nd} = C_{np} [C_v \lg \lambda^3 + C_s (\lambda - 1)], \quad (7)$$

де  $C_v$  - коефіцієнт, що виражає роботу пружних деформацій, віднесена до 1 кг подрібненої маси, Дж/кг;

$C_s$  - коефіцієнт, що представляє роботу, яка витрачається на створення нових поверхонь дробленого матеріалу, Дж/кг

Винесемо за дужки в правій частині рівняння  $C_s (\lambda - 1)$

$$A_{nd} = C_{np} C_s \left( \frac{C_v}{C_s} \cdot \frac{\lg \lambda^3}{\lambda - 1} + 1 \right) \cdot (\lambda - 1)$$

і одержимо значення коефіцієнта  $C$  з формули (4)

$$C = C_{np} C_S \left( \frac{C_V}{C_S} \cdot \frac{\lg \lambda^3}{\lambda - 1} + 1 \right) \quad (8)$$

У теорії процесу подрібнювання прийнято, що корисною роботою є робота  $A_S$  - робота, витрачена на створення нових поверхонь.

Таким чином, коефіцієнт корисної дії процесу подрібнювання можна визначити за виразом:

$$\eta_{nd} = \frac{A_S}{A_{nd}} = \frac{A_S}{A_V + A_V} \quad (9)$$

Після підстановки одержимо:

$$\eta_{nd} = \frac{C_{np} C_S (\lambda - 1)}{C_{np} [C_V \lg \lambda^3 + C_S (\lambda - 1)]}$$

І в результаті з метою виявлення закономірності змінення ККД процесу подрібнювання від ступеня подрібнювання і відношення  $C_V/C_S$  одержимо наступну формулу:

$$\eta_{nd} = \frac{1}{\frac{C_V}{C_S} \cdot \frac{\lg \lambda^3}{\lambda - 1} + 1} \quad (10)$$

Для визначення відношення  $C_V/C_S$  ми скористались характеристиками фуражного зерна за експериментальними даними С.В. Мельникова (таблиця 3).

Таблиця 3 – Характеристика фуражного зерна

Культура	Еквівалентний діаметр, мм	Коефіцієнти		
		$C_V$ , кДж/кг	$C_S$ , кДж/кг	$C_V/C_S$
Ячмінь	4,2	8,50	7,50	1,13
Овес (без плівок)	3,7	2,34	1,96	1,19
Жито	3,3	8,40	6,40	1,31
Пшениця	3,8	4,60	8,15	0,56
Горох	6,3	10,70	3,66	2,92

Як видно з таблиці, значення відношення  $C_V/C_S$  для зернових культур, що служать сировиною для приготування кормів, суттєво відрізняються і знаходяться у діапазоні від 0,5 до 3,0.

На рис. 1 показані графіки змінення величини  $lg \lambda^3 / (\lambda - 1)$  і значень ККД подрібнення культур, представлених в таблиці 3 в залежності від ступеня подрібнювання  $\lambda$ .

Графіки побудовані при умові, що відношення  $C_V/C_S$  протягом всього процесу є постійною величиною.

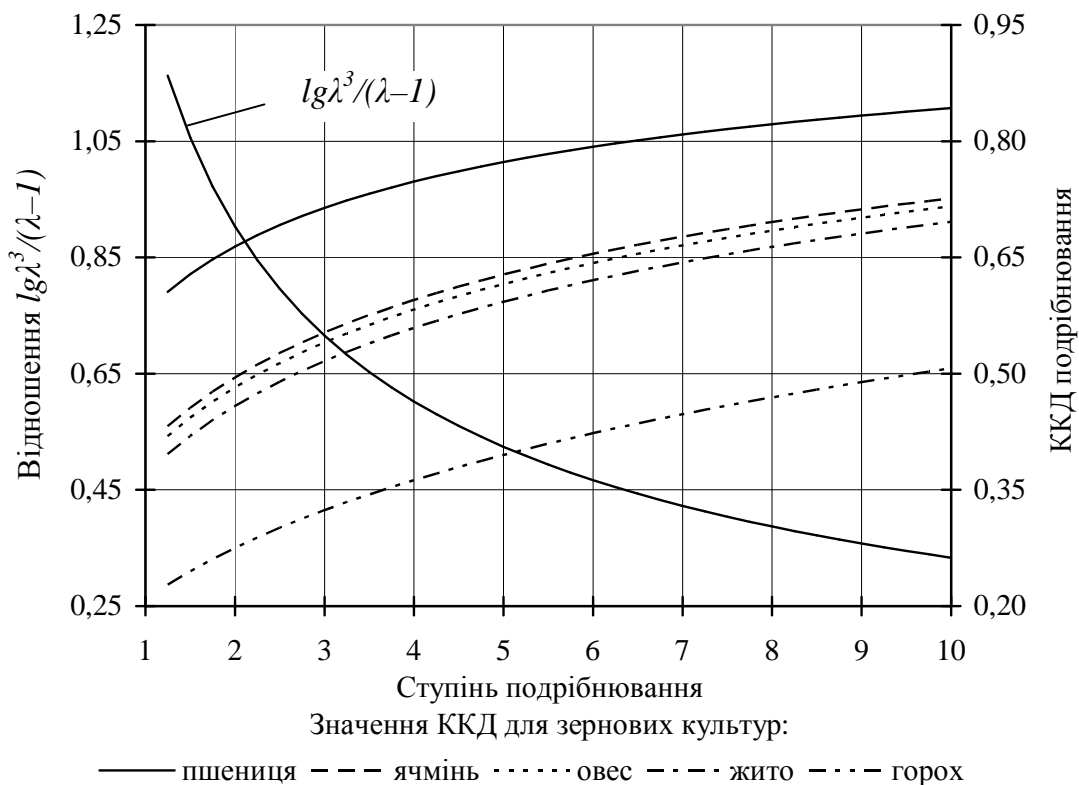


Рис.1. Графіки змінення ККД і  $lg \lambda^3 / (\lambda - 1)$  у залежності від ступеня подрібнювання.

Зі збільшенням ступеня подрібнювання  $\lambda$  величина  $lg \lambda^3 / (\lambda - 1)$  зменшується і, як випливає з залежності (10), при умові  $C_V/C_S = const$  значення  $\eta_{nd}$  збільшується.

На рис. 2 зображені графіки залежності коефіцієнта корисної дії процесу подрібнення від величини відношення коефіцієнтів  $C_V/C_S$  при різних значеннях ступеня подрібнювання  $\lambda$ .

Закономірність збільшення коефіцієнта корисної дії по мірі збільшення ступеня подрібнювання погоджується з теорією руйнування крихких матеріалів.

У процесі утворення кожної нової поверхні збільшуються існуючі і виникають нові концентратори напружень (тріщини та інші вади і дефекти) не тільки в тому перетині на який безпосередньо діє робочий орган подрібнювача, а й в ближніх до нього перетинах. Чим кожна послідуєча тріщина буде ближчою до тріщин, що виникли раніш, тим вплив концентраторів буде суттєвішим.

Цим явищем можна пояснити зниження питомих витрат і збільшення ККД зі збільшенням ступеня подрібнювання. Однак, ця закономірність зберігається тільки до деякого мінімального розміру частки, за яким подальше зменшення супроводжується ущільненням шару матеріалу і тим самим збільшенням питомих витрат енергії.

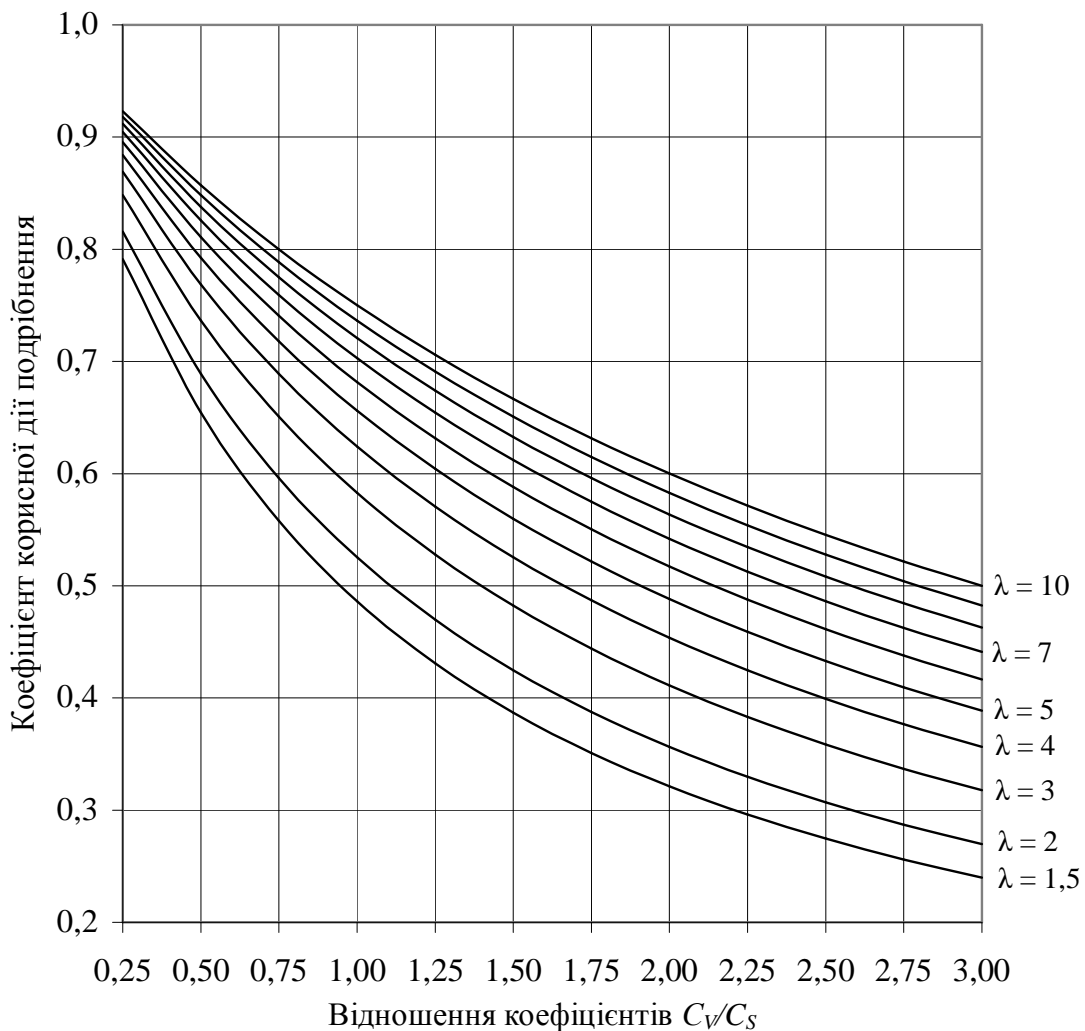


Рис.2. Графіки залежності ККД подрібнення від величини відношення коефіцієнтів  $C_v/C_s$ .

Визначення інших складових, що входять до формули (2), великих труднощів не представляють.

Потужність, що витрачається на циркуляцію робочої зернової маси в подрібнюючій камері дробарки (вентиляційні втрати) можна визначити за відомою формулою:

$$P_{\text{вв}} = k_{\text{в}} (1 + K_{\text{ц}} \mu_{\text{ц}}) v_{\text{м}}^3 \quad (11)$$

де  $k_{\text{в}}$  - дослідний коефіцієнт, що враховує конструкцію барабана;

$K_{\text{ц}}$  - кратність циркуляції матеріалу;

$\mu_{\text{ц}}$  - коефіцієнт концентрації (кг/кг) матеріалу;

$v_{\text{м}}$  - колова швидкість крайніх точок ротора подрібнювача.

Потужність, що витрачається на транспортування маси в порожнині самого апарата і одночасне перетирання її, визначається як частка потужності подрібнювання:

$$P_{\text{та}} = f_{\text{сл}} P_{\text{нд}} \quad (12)$$

де  $f_{\text{сл}}$  - коефіцієнт, подібний коефіцієнту підбою В.П. Горячкіна

Потужність на подолання опору в передачах привода визначають виходячи зі значення загального коефіцієнта корисної дії привода  $\eta_{\text{пр}}$ , який, у свою чергу, визначають, перемножуючи значення ККД кожної з передач, що входить у привод.

$$P_{\text{пр}} = (P_{\text{нд}} + P_{\text{вв}} + P_{\text{та}}) (1 - \mu_{\text{пр}}) \quad (13)$$

Витрати потужності на холостий хід передбачають роботу барабана дробарки при знятих молотках і приймаються у розмірі 15...20% від потужності потрібної на подрібнення.

У цілому ж, за висновками багатьох дослідників, основне головне місце в балансі потужності займає потужність подрібнення, а сума всіх інших складових балансу не перевищує 15...20%, тобто:

$$P = (1,15...1,2) P_{\text{нд}} \quad (14)$$

Таким чином, для точного прогнозування енерговитрат при подрібнюванні зернового матеріалу потрібно з максимальною точністю прогнозувати значення ККД процесу подрібнювання і, тим самим, величину потужності потрібної для реалізації цього процесу.



*Висновки.* Проведені теоретичні дослідження дають змогу реалізувати прогнозування коефіцієнта корисної дії та потужності подрібнювання сировини на зерновій дробарці.

Література:

1. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. - Л.: Колос, 1978.-560 с.
2. Ялпачик Ф.Е. Кормодробилки. Конструкции. Расчет. / Ф.Е. Ялпачик и др., Запорожье. Коммунар. 1992. – 289 с.

## **БАЛАНС МОЩНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗЕРНОВОЙ ДРОБИЛКИ**

Ялпачик Е.В., Буденко С.Ф.

**Аннотация - работа содержит результаты теоретических исследований по установлению баланса мощности и прогнозированию коэффициента полезного действия измельчителя концентрированных кормов в зависимости от степени измельчения зерновой массы.**

## **BALANCE OF POWER AND ENERGY EFFICIENCY GRAIN CRUSHER**

E.Yalpachyk, S.Budenko

### *Summary*

**This paper contains the results of theoretical research on establishing the balance of power and predicting the efficiency of the shredder concentrated feed, depending on the degree of grinding grain mass.**