

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ТА БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ ЗЕРНОВОЇ ДРОБАРКИ

Паляничка Н. О., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Циб В. Г., ст. викладач,

ORCID: 0000-0002-2176-2616

Лівик Н. В., інженер,

Ломейко О. П., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

*Постановка проблеми.* В технології приготування кормів головними машинами є подрібнювачі ударної дії – молоткові дробарки. Кожен тип подрібнювачів охоплює велику групу машин, які відрізняються конструктивним виконанням та схемою організації робочого процесу [1]. Простота устрою, висока надійність в роботі, динамічність робочих режимів, велика швидкість робочих органів надають можливість використання їх у багатьох галузях.

Поруч з цим, молоткові подрібнювачі мають багато недоліків: висока енергоємність, нерівномірність гранулометричного складу, підвищений знос робочих органів.

Подрібнювання [5] є одним з найбільш енергоємних процесів при переробці фуражного зерна на корм худобі і птиці. Раціональний розмір часток зерна, тобто ступінь подрібнення зернової маси для кожного виду тварин регламентується відповідними зоотехнічними вимогами.

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 вніс 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.

*Метою даної публікації є одержання на основі теоретичних досліджень прогнозованих значень коефіцієнту 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 приводу подрібнювача, розглядалася як сума окремих складових.

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

$$P = P_{n\partial} + P_{\text{вв}} + P_{\text{та}} + P_{\text{тп}} + P_{\text{те}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{пт}}, \quad (1)$$

де  $P_{n\partial}$  – потужність, потрібна на подрібнення;

$P_{\text{вв}}$  – потужність на циркуляцію маси (вентиляційні втрати);

$P_{\text{та}}$  – потужність транспортування маси в самому апараті;

$P_{\text{тп}}$  – потужність подачі матеріалу до апарата;

$P_{\text{те}}$  – потужність відведення продукту від апарата;

$P_{\text{пр}}$  – потужність на подолання опору в передачах привода;

$P_{\text{пт}}$  – 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, 2] потужності холостого ходу ( $P_{\text{х.х}}$ ) баланс потужності буде мати вигляд:

$$P = P_{n\partial} + P_{\text{вв}} + P_{\text{та}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{х.х}}. \quad (2)$$

У даному рівнянні найбільший інтерес представляє значення першого доданку –  $P_{n\partial}$

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

$$P_{n\partial} = Q \cdot A_{n\partial}, \quad (3)$$

де  $A_{n\partial}$  – 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 вважати відношення середнього діаметра шматка вихідного матеріалу  $D$  до середнього розміру  $d$  часток продукту подрібнення.

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

При визначенні ступеня подрібнення зерна [3, 6] 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 [9], 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 [4, 7] регулятором тонкості помелу служить решето, встановлене в дробильній камері. Абсолютні значення ступеня подрібнення зерна злакових культур за даними [1, 8] 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 [5], 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 коефіцієнту корисної дії процесу скористаємось основним законом подрібнення у наступному вигляді [3, 10]

$$A_{nd} = C_{np}(A_V + A_S), \quad (6)$$

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 коефіцієнту  $C$  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 віднесено 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:

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

Після підстановки одержимо

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

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

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

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.

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  $\eta_{n\partial}$  збільшується.

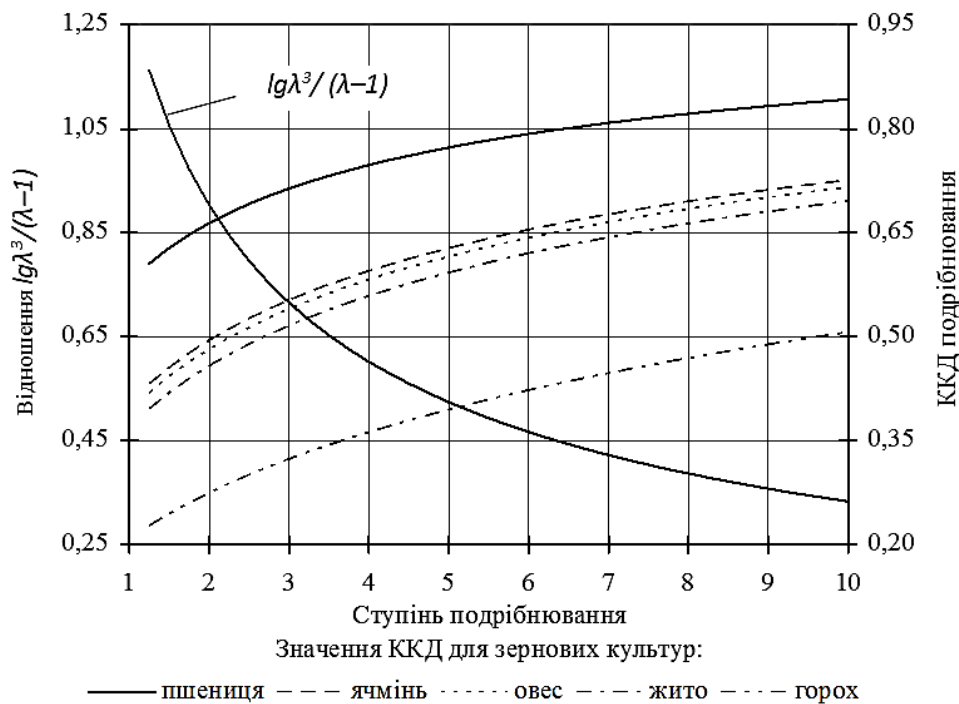


Рис. 1. Графіки зміння ККД і  $lg\lambda^3/(\lambda-1)$  у залежності від ступеня подрібнювання.

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

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

У процесі утворення кожної нової поверхні [5, 10] 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 послідуоча 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.

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

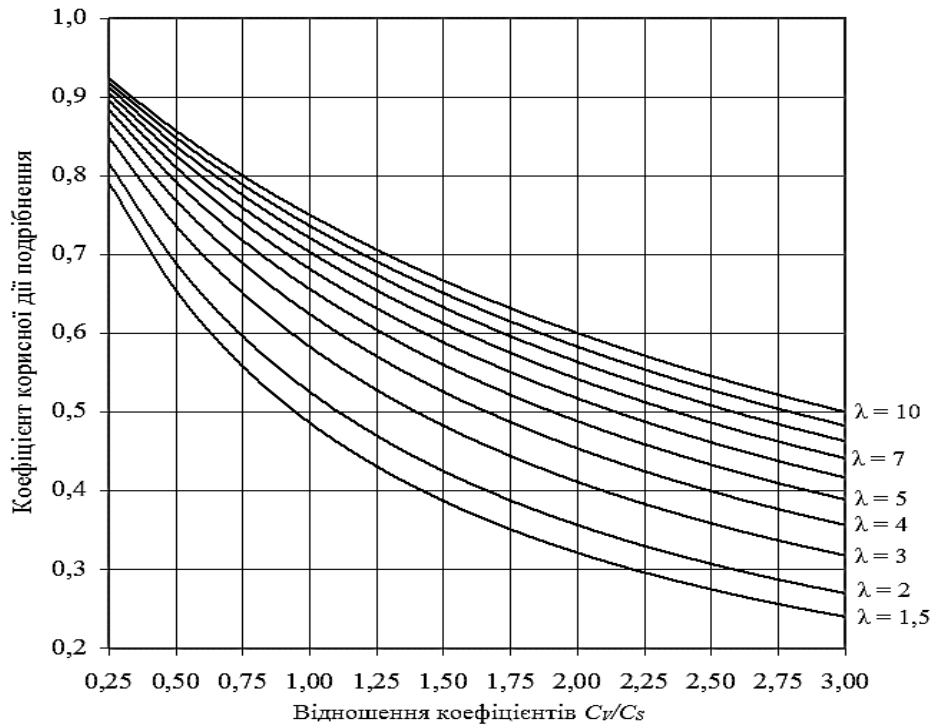


Рис. 2. Графіки залежності ККД подрібнення від величини відношення коефіцієнтів  $C_v/C_s$ .

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 приводу визначають виходячи зі значення загального коефіцієнту корисної дії приводу  $\eta_{\text{пр}}$ , який, у свою чергу, визначають, перемножуючи значення ККД кожної з передач, що входить у привод.

$$P_{np} = (P_{nd} + P_{ев} + P_{та})(1 - \mu_{np}). \quad (13)$$

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:

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

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 коефіцієнту корисної дії та потужності подрібнювання сировини на зерновій дробарці.

#### Література:

1. Олексієнко В. О. Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2006. 20 с.
2. Ялпачик Ф. Е., Ялпачик Г. С., Крыжачковский Н. Л., Кюрчев В. Н. Кормодробилки: конструкция, расчет. Запорожье: Коммунар, 1992. 296 с.
3. Сыроватка В. И. Эффективное измельчение фуражного зерна в дробилках. *Зоотехния*. 1991. № 11. С. 67-70.
4. Купченко А. В., Ялпачик О. В., Шпиганович Т. А., Алексеенко В. А. Определение прочностных характеристик зерна. *Зернові продукти і комбікорми*. 2010. № 4 (40). С.18-22.
5. Фучаджи Н. О. Оптимізація технологічного процесу лущення власнокруп'яних культур: автореф. дис. ...канд. техн. наук. Херсон, 2006. 20 с.
6. Бойко А. І., Савченко В. М. Аналітичне дослідження спрацювання монометалічних серійних молотків кормодробарок. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2006. № 4. С. 20-24.
7. Ялпачик Ф. Е., Алексеенко В. А., Волков О. П. Изменение динамических параметров дробилок в процессе износа молотков. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Сер. Підвищ. надійності відновлюван. деталей машин*. 2000. Вип. 4. С. 57-60.
8. Ялпачик Ф. Ю., Фучаджи Н. О., Мілаєва В. О. Значення подрібнення у приготуванні корму для тварин. *Праці Таврійського*



державного агротехнологічного університету. 2010. Вип. 10, т. 3. С. 43-47.

9. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10. С. 24-35.

10. Ялпачик О. В., Буденко С. Ф. Баланс потужності та коефіцієнт корисної дії зернової дробарки. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 1. С. 218-226.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ТА БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ ЗЕРНОВОЇ ДРОБАРКИ**

Паляничка Н. О., Циб В. Г., Лівик Н. В., Ломейко О. П.

### **Анотація**

Робота містить результати теоретичних досліджень з встановлення балансу потужності і прогнозування коефіцієнту корисної дії подрібнювача концентрованих кормів у залежності від ступеня подрібнювання зернової маси.

Робота присвячена одержанню на основі теоретичних досліджень прогнозованих значень коефіцієнту корисної дії процесу подрібнення зерна на дробарці прямого удару.

Енерговитрати процесу подрібнювання тієї чи іншої кормової суміші, потужність, потрібна для приводу подрібнювача, розглядалася як сума окремих складових. Згідно з дослідженим теоретичним матеріалом енерговитрати процесу подрібнювання, в залежності від конкретної конструкції дробарки, можуть змінюватись.

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

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ И БАЛАНСА МОЩНОСТИ ЗЕРНОВОЙ ДРОБИЛКИ**

Паляничка Н. А., Цыб В. Г., Ливик Н. В., Ломейко А. П.

### **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.

Работа посвящена получению на основе теоретических исследований прогнозируемых значений коэффициента полезного действия процесса измельчения зерна на дробилке прямого удара.

Энергозатраты процесса измельчения той или иной кормовой смеси, мощность, необходимая для привода измельчителя, рассматривалась как сумма отдельных составляющих. Согласно исследованным теоретическим материалам энергозатраты процесса измельчения, в зависимости от конкретной конструкции дробилки, могут меняться.

Проведены теоретические исследования позволяют реализовать прогнозирования коэффициента полезного действия и мощности измельчения сырья на зерновой дробилке.

**Ключевые слова:** измельчение зерна, баланс мощности, степень измельчения, работа измельчения, КПД.

## STUDY OF THE USEFUL COEFFICIENT AND BALANCE OF POWER OF ACTION OF THE GRAIN CRUSHER

N. Palianychka, V. Tsyb, N. Livyk, O. Lomaiko

### 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.

Hammer crushers in feed preparation technology are the main machines among impact crushers. Each type of shredder encompasses a large group of machines, characterized by a constructive design and a workflow organization scheme. Advantages of hammer crushers are simplicity of the device, high reliability in work, dynamic of working modes, high speed of working bodies. Disadvantages: high energy consumption, uneven granulometric composition, increased wear of working organs.

The work is devoted to obtaining, on the basis of theoretical studies, the predicted values of the efficiency of the process of grinding grain in a direct impact crusher.

When processing feed grain for feed, cattle and poultry are one of the most energy-intensive processes. For each species, the rational size of the grain particles, ie the degree of grinding grain mass is governed by the relevant zootechnical requirements.

The energy consumption of the process of grinding a feed mixture, the power required to drive the shredder, was considered as the sum of the individual components. According to the theoretical material studied, the energy consumption of the grinding process may vary depending on the specific design of the crusher.

Thus, for accurate prediction of energy consumption when grinding grain material, it is necessary to predict with maximum accuracy the efficiency of the grinding process and, thus, the amount of power required to implement this process.

Conducted theoretical studies make it possible to realize the prediction of the efficiency and grinding power of raw materials on the grain crusher.

**Key words:** grain grinding, power balance, degree of grinding, grinding operation, efficiency.