

## ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ВАЛЬЦЬОВОГО МЛИНА

**О.П. Скорик ст.викл., В.М. Полупанов доц., О.М. Русальов викл.**

*(ХНТУСГ ім. Петра Василенка)*

*У роботі приведені результати розрахунків геометричних параметрів вдосконаленого вальцьового млина для подрібнення зерна на концентрований корм. Попередні розрахунки показують, що удосконалення дозволить спростити конструкцію, зменшити енергоємність і металоємність на 35...40%.*

**Актуальність роботи:** Ефективність використання комбікормів у значній мірі визначається попередньою підготовкою зернових компонентів, які становлять основу комбікормів.

У зерні бобових дуже багато міститься кормового білка. Він розчиняється у воді і добре перетравлюється в шлунку свиней. При згодовуванні ж бобових великій рогатій худобі розчинний білок руйнується в рубці і значна його частина втрачається. Крім того, особливістю бобових є наявність в зерні шкідливих речовин, які значно зменшують їх цінність для всіх видів тварин, а іноді призводять до неможливості згодовувати їх без попередньої обробки.

Зерно злакових містить 50 % і більше крохмалю. Це цінний вуглевод, однак на його засвоєння тварини витрачають багато енергії, яка могла б бути використана на утворення у тілі жиру та інших корисних речовин. Враховуючи позитивні та негативні якості зерна, його необхідно вважати не кормом, а лише цінною сировиною для приготування кормів. Подрібнення зерна до стану пилу також знижує ефективність його використання внаслідок швидкого проходження через шлунково-кишковий тракт. В. Р. Зельнер та Є. Г. Конопльов (1972) довели, що інтенсивність росту молодняку свиней була на 18 % нижча при згодовуванні кукурудзяної дерті, просіяної через решето з отворами діаме-

трам 0,1мм, ніж при згодовуванні дерті, просіяної через решето з отворами діаметром 1,8мм.[1]

**Мета роботи:** Створення подрібнювача зернових кормів, який би відповідав вимогам відносно ступеня подрібнення і мав кращі ніж у існуючих показники енергоємності і металоємності.

Подрібнення – найпростіший спосіб підготовки зерна до згодовування усім видам тварин. Його здійснюють способами, при яких зерно деформується під ударом, стирається, здавлюється або піддається одночасній дії всіх зазначених процесів. При подрібненні зерна руйнується його щільна оболонка і утворюються частини з значно більшою сумарною поверхнею. У результаті цього підвищується доступність для ферментів травлення усіх поживних речовин і їх перетравність.

Оптимальний ступінь подрібнення зерна для тварин різних видів неоднаковий. Мірилом ступеня подрібнення є модуль крупності помелу, який визначається за середніми даними ситового аналізу. Для свиней він повинен бути 0,2 – 1,0 мм (тонкий помел), для великої рогатої худоби – 1,0-1,8 мм (середній) і для птиці – 1,8-2,6 мм (грубий помел).

Вимоги до величини помелу зерна для тварин різних видів та виробничих груп визначені державними стандартами.

На сьогодні подрібнення зернових кормів при приготуванні концентрованих кормів виконується двома способами: ударом та розколюванням. Перший спосіб реалізований в молоткових дробарках, а другий – в вальцьових млинах. При цьому, перевагу віддається першим. Це пов'язано з наступним. Питомі енергоємність та металоємність молоткових дробарок і вальцьових млинів приблизно однакові (питома енергоємність молоткових дробарок – 6...14 Вт.год/кг, а вальцьових млинів – 6...8 Вт.год/кг, питома металоємність: 0,2...0,6 кг.год/кг і 0,4...0,8 кг.год/кг відповідно. Однак, вальцьові млини значно складніші за будовою і потребують значних витрат часу на налагодження і технічне обслуговування в порівнянні з молотковими дробарками. В той же час при подрібненні зерна на молоткових дробарках в складі концентрату створюється значна кіль-

кість борошна – до 30%, в залежності від ступеня подрібнення. Це визначається способом подрібнення – ударом молотка по зерну зі значною швидкістю – до 80 м/с, тоді, як у млинів швидкість дії – до 6 м/с і борошна створюється на порядок менше.

Підсумовуючи попереднє, можна зробити висновки, що удосконалення конструкції вальцьових млинів дасть змогу більш ефективно використовувати концентровані корми.

Задачею наших досліджень є спрощення конструкції млина і зменшення енергоємності процесу подрібнення та металоємності конструкції.

Аналізуючи конструкцію і роботу вальцьових млинів, зауважимо, що удосконалення потребує система подачі зерна на вальці.

Продуктивність вальцьового станка визначається за формулою [2, 3, 4]:

$$Q = a \cdot L \cdot V_{cp} \cdot \rho \cdot \phi, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

де  $a$  – середня величина зазору в зоні подрібнення, м;

$L$  – довжина вальців, м;

$V_{cp}$  – середня швидкість зерна в зоні подрібнення, м/с;

$\rho$  – щільність зерна, кг/м<sup>3</sup>;

$\phi$  – коефіцієнт, який враховує ступінь заповнення зерном зони подрібнення ( $\phi=0,1\dots0,2$ ).

Аналізуючи формулу, зауважимо, що таке мале значення коефіцієнта заповнення  $\phi$  обумовлено затягуванням зерна в зазор між вальцями шаром товщиною в одне зерно, а також формою зерна. Таким чином вальці працюють на подрібнення на 10..20% своєї довжини.

Ми пропонуємо організувати збільшення подачі матеріалу в два рази за допомогою спеціальної деки (рисунок 1).

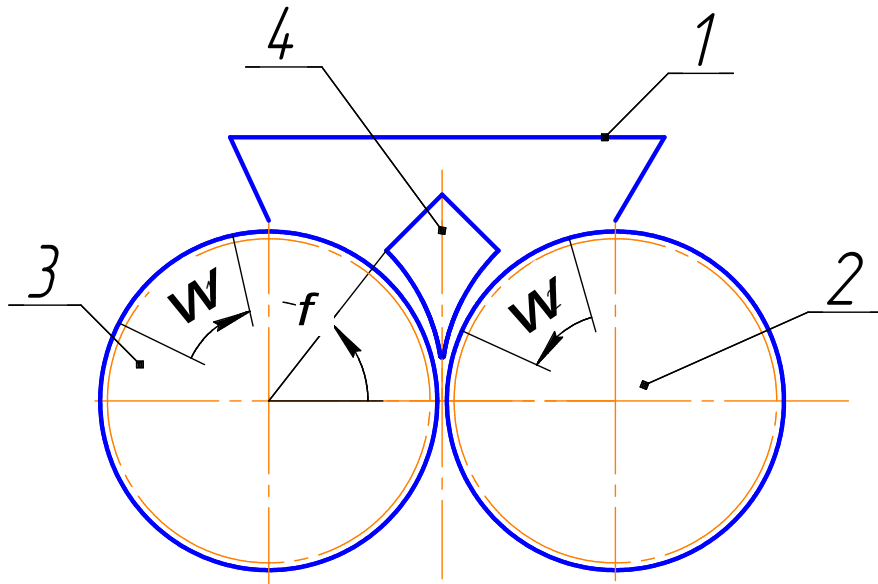


Рисунок 1 – Схема вальцювого млина: 1 – бункер; 2,3 – вальці; 4 – дека.

Така конструкція забезпечить організацію подачі зерна на подрібнення в два потоки, при цьому, на вході в деку встановлюється зазор, який достатній для проходження зерна, а на виході – менший половини товщини зерна. Особливістю процесу подрібнення зерна при такій конструкції є те, що при проходженні зерна під декою на нього діють зубці (рифлі) вальця і зерно розколюється, при цьому витрати енергії значно менші, ніж при стисканні зерна між гранями зубців двох вальців., так як в даному випадку зубець входить в зерно як клин. Остаточне подрібнення зерна між вальцями проходить також з меншими енерговитратами тому, що цілісність зерна вже порушена.

Розглянемо умови, при яких зерно буде подаватися валиком до деки. Форма зубців валика стандартизована. Вони мають широкі і вузькі грані (рисунок 2а). Радіус  $R$ , проведений до вершини зубця поділяє стандартний кут загострення  $\gamma = \pi/2$  на кут вістря  $\alpha = 20^\circ$  і кут спинки  $\beta = 70^\circ$  [2]. Найбільш несприятливими умовами подачі зерна будуть ті, коли воно буде взаємодіяти з широкою гранню (рисунок 2б). Подача матеріалу буде забезпечена в тому випадку, коли відносний рух його по грані відсутній і, за рахунок обертання валика, матеріал зтягується під деку.

Складаємо математичну модель процесу. На зерно діють такі сили (рисунки 3б, 4): сила тиску матеріалу на грань зубця  $F_T$ , сила опору зсуву матеріалу

$F_O$ , сила тертя матеріалу по грані  $F_{TP}$  і сила нормального тиску грані на матеріал  $N$ . В натуральній системі координат записуємо диференціальні рівняння процесу:

$$\begin{cases} m\ddot{\tau} = F_{TP} - F_O \cdot \cos \alpha \\ m\ddot{n} = N - F_T - F_O \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{TP} = N \cdot f_1 \quad (2)$$

$$F_T = P \cdot S_1 = P \cdot B \cdot l \quad (3)$$

$$F_O = P \cdot S_2 \cdot f_2 = P \cdot B \cdot l_1 \cdot f_2, \quad (4)$$

де  $P$  – тиск матеріалу, Н/м<sup>2</sup>;

$S_1$  – площа грані,  $S_1 = B \cdot l$ , м.;

$S_2$  – площа зсуву матеріалу гранню,  $S_2 = B \cdot l_1$ , м.;

$B$  – довжина вальця, м.;

$l$  і  $l_1$  – ширина грані та її проекція на напрям зсуву, м.;

$f_1$  і  $f_2$  – коефіцієнти тертя матеріалу по грані і внутрішнього тертя в матеріалі.

Так як за умовами матеріал не рухається відносно грані, то  $\ddot{\tau} = 0$  і  $\ddot{n} = 0$ .

Тоді формули (1) будуть мати вид:

$$\begin{cases} F_{TP} - F_O \cdot \cos \alpha = 0 \\ N - F_T - F_O \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Підставляємо значення сил і вирішуємо рівняння відносно мінімального кута установки деки  $\varphi$ .

$$N = F_T - F_O \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

З урахуванням формул (3) і (4):

$$N = P \cdot B \cdot l - P \cdot B \cdot f_2 \cdot \sin \alpha = P \cdot B \cdot (l - l_1), \quad (7)$$

Спільно вирішуємо рівняння (5):

$$P \cdot B \cdot f_1 \cdot (l - l_1 \cdot f_2 \cdot \sin \alpha) - P \cdot B \cdot l_1 \cdot f_2 \cdot \cos \alpha = 0$$

Так як  $P \cdot B \neq 0$ , то скорочуємо рівняння і отримуємо:

$$f_1 \cdot (l - l_1 \cdot f_2 \cdot \sin \alpha) - l_1 \cdot f_2 \cdot \cos \alpha = 0, \quad (8)$$

Значення ширини грані  $l_1 = l \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi}$ , (9)

Підставляємо значення (9) в (8) і скорочуємо на  $l$ :

$$l \cdot f_1 + l \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \sin \alpha - l \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi} \cdot f_2 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$f_1 + f_2 \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi} \cdot (f_1 \sin \alpha - \cos \alpha) = 0, \quad (10)$$

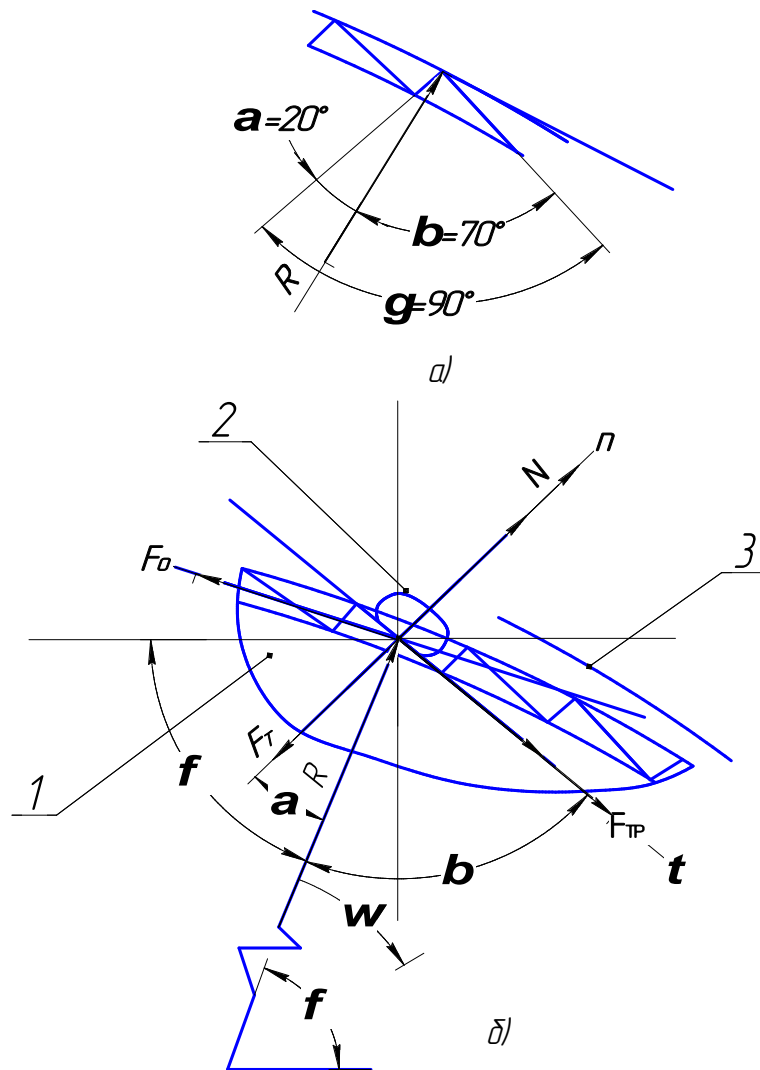


Рисунок 2 – Схема взаємодії зуба і зерна: а) - схема зуба; б) - схема дії сил на зерно: 1 – валець; 2 – зерно; 3 – дека.

Проводимо подальші перетворення і вирішуємо відносно кута  $\varphi$  урахуванням того, що  $\varphi_1$  - кут тертя матеріалу по грані ( $f_1 = \text{tg} \varphi_1$ ):

$$f_1 + f_2 \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi} \cdot (\text{tg} \varphi_1 \sin \alpha - \cos \alpha) = 0$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{f_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi_1)}{f_2 \cdot \cos(\alpha + \varphi_1) - f_1 \cdot \cos \varphi_1}.$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{f_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi_1)}{f_2 \cdot \cos(\alpha + \varphi_1) - f_1 \cdot \cos \varphi_1} \quad (11)$$

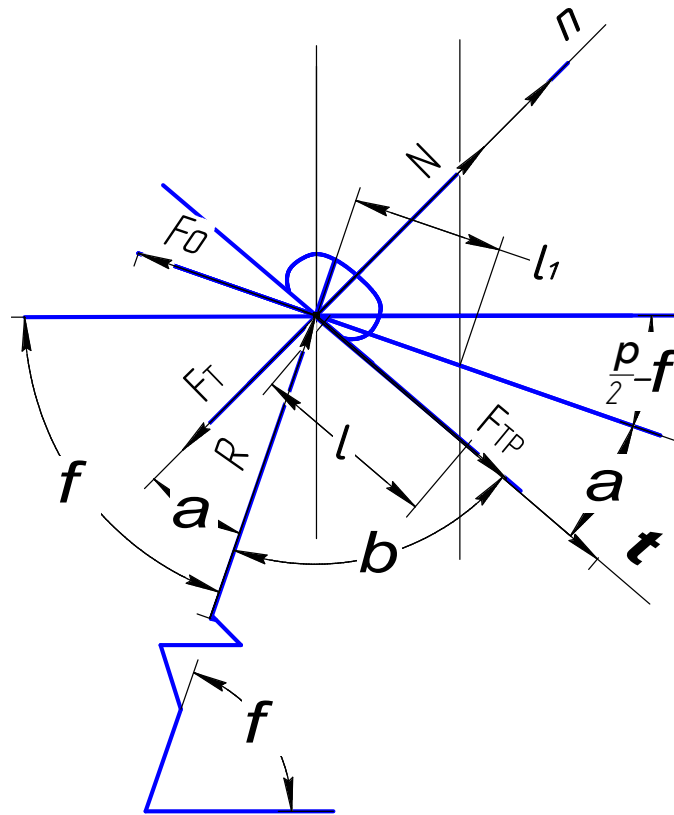


Рисунок 3 – Розрахункова схема

Отримали формулу для розрахунку максимального кута установки деки, який залежить від геометричних параметрів зубця (кута  $\alpha = \pi/2 - \beta$ ) і коефіцієнтів тертя матеріалу по грані  $f_1$  і внутрішнього тертя в матеріалі  $f_2$ . Будуємо графік цієї залежності (рисунок 4).

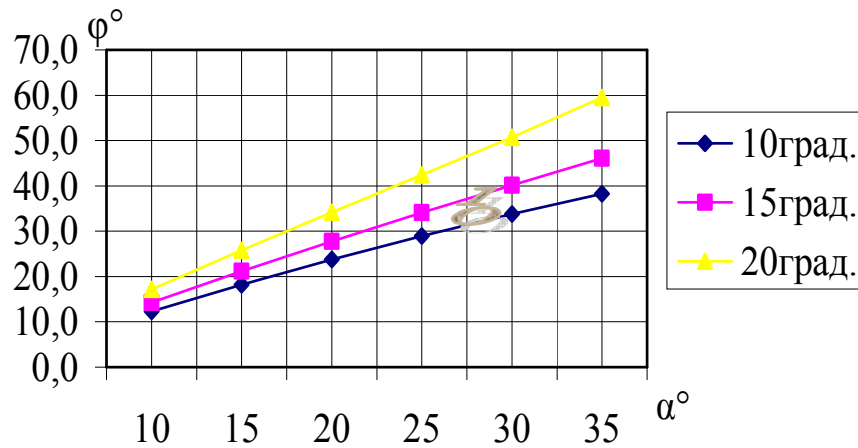


Рисунок 4 – Залежність кута установки деки  $\varphi$  від кута зуба  $\alpha$  ( $\varphi_1=10^\circ$ ;  $15^\circ$ ;  $20^\circ$ ,  $i f_2=1$ ).

При стандартному куті  $\alpha = 20^\circ$  і куті тертя  $\varphi_1=10^\circ$  кут установки деки  $\varphi = 23,8^\circ$ . При збільшенні кута  $\alpha$  збільшується і кут  $\varphi$ . Визначимо, як це впливає на необхідну потужність приводу станка.

Потужність на привод вальцювого робочого органу залежить від часу перебування зерна в зоні дії вальців [2, 3]:

$$N = \frac{A}{t}, \text{ Вт.} \quad (12)$$

де  $A$  – робота, яка витрачається на подрібнення, Дж.;

$t$  - час перебування зерна в зоні дії вальців, с.

Вираз для довжини шляху обробки в традиційних станках буде мати вид [2, 3]:

$$l = \sqrt{\frac{D(a - \Delta)}{2}}, \text{ м;} \quad (13)$$

де  $D$  – діаметр вальця, м.;

$a$  – розмір зерна, м.;

$\Delta$  – робочий зазор між вальцями, м.

В існуючих конструкціях вальців довжина  $l$  коливається від 3 до 20мм, а величина зазору  $\Delta$  при обойному розмелі зерна – від 0,5 до 1,5мм. [2, 3].



Знаючи довжину шляху обробки і середню швидкість проходження часток матеріалу, можна знайти час  $t$  їхнього перебування у зоні подрібнення [2, 3]:

$$t = \frac{l}{V_3} = \frac{2\sqrt{\frac{D(a-\Delta)}{2}}}{V_b - V_m}, \text{ с.} \quad (14)$$

В нашому випадку

$$l = l_\delta, \text{ м,} \quad (15)$$

де  $l_\delta$  – довжина шляху обробки зерна під декою, м.

$$l_\delta = \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360}, \text{ м.} \quad (16)$$

Тоді час перебування зерна у зоні подрібнення:

$$t_p = \frac{2l_\delta}{V_b + V_m}, \text{ с.} \quad (17)$$

Робимо припущення, що роботу, яка витрачається на подрібнення у випадках подрібнення на традиційних вальцях і тими, які ми пропонуємо, можна вважати однаковою при однаковій продуктивності. Тоді потужність на привод вальців буде залежати від часу перебування зерна у зоні подрібнення:

$$N = \frac{A}{t}, \text{ Вт.} \quad (18)$$

$$N_p = \frac{A}{t_p}, \text{ Вт.} \quad (19)$$

Визначаємо потужність на привод запропонованого вальцьового станка:

$$N_p = \frac{N \cdot t}{t_p}, \text{ Вт.} \quad (20)$$

Підставляємо значення  $t$  і  $t_p$  (14, 17) у вираз(20):

$$N_p = \frac{N \cdot (V_b + V_m) \cdot \sqrt{\frac{D(a-\Delta)}{2}}}{(V_b - V_m) \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360}}, \text{ Вт.} \quad (21)$$

Ми отримали формулу для приблизного обрахування потужності на привод запропонованого нами вальцьового станка, який має продуктивність, що

дорівнює продуктивності аналога. В тому випадку, коли продуктивності різні, формула буде мати вид:

$$N_p = \frac{N \cdot Q_p \cdot (V_B + V_M) \cdot \sqrt{\frac{D(a - \Delta)}{2}}}{Q \cdot (V_B - V_M) \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360}}, \text{ Вт.}, \quad (22)$$

де  $Q$  і  $Q_p$  – значення продуктивності аналога і запропонованого нами вальцьового станка відповідно.

Розрахунки показують, що потужність, яка розрахована за формулами менша за аналогову (рисунок 6). Збільшення діаметра вальців призводить до зменшення необхідної потужності (при  $D=0,25\text{м.}$  – на 35%, а при  $D=0,30\text{м.}$  – на 40%), а збільшення кута установки деки до  $50^\circ$  – на 55 і 59% відповідно. Однак, в реальних умовах ці результати, звичайно, будуть не такі значні, тому, що не була врахована сила тертя матеріалу об деку. Тому наступним етапом нашої роботи буде експериментальне дослідження процесу подрібнення і внесення дослідних коефіцієнтів для уточнення формули (22).

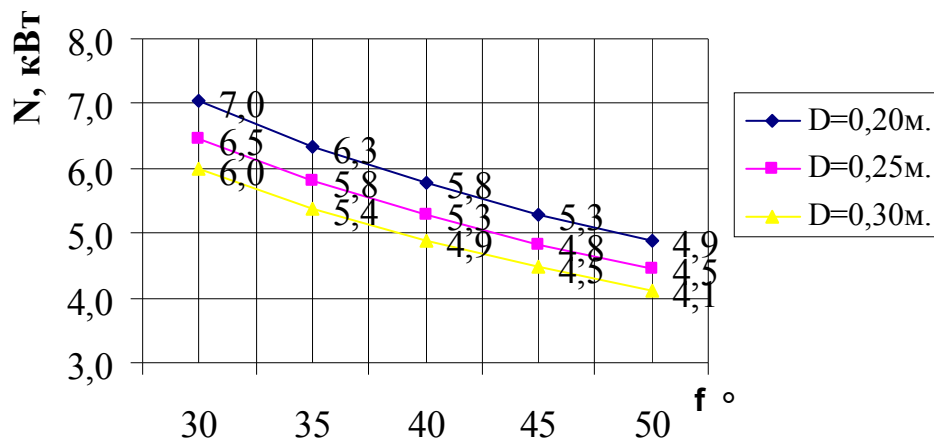


Рисунок 7 – Залежність потужності на привод вальцьового станка від діаметра вальців і кута установки деки  $\varphi$  (Аналог: потужність  $N=10$  кВт., продуктивність  $Q = 1\text{т/год.}$ ,  $a=5\text{мм.}$ ,  $\Delta=1,5\text{мм.}$ ).

**Висновки 1.** Запропоноване нами удосконалення конструкції вальцьового млина дозволить відмовитись від складної системи подачі зерна на вальці.

2. При однаковій продуктивності нова конструкція буде мати в два рази меншу довжину вальців і, відповідно, - меншу загальну масу.
3. Потужність на привод буде в 1,5...2 рази менша.

## **Список літератури**

1. Годівля сільськогосподарських тварин. Г. О. Богданов, В. Ф. Каравашенко, О. І. Зверев та ін.; За ред. О. Г. Богданова-2-е вид., перероб. і доп. – К. : Урожай, 1986. – 488 с.
2. Левягин Г. М. Проектирование мельниц. – М.: Заготиздат, 1951.
3. Соминич Н. Г. Механизация животноводческих ферм. – Л.: Сельхозгиз, 1957. – 544 с.
4. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М: Колос, 1978.

## **Аннотация**

### **Параметрический анализ вальцевой мельницы**

А. П.Скорик, В. Н. Полупанов, А.М. Русальов

*В работе приведены результаты расчетов геометрических параметров усовершенствованного станка для измельчения зерна на концентрированный корм. Предварительные расчеты показывают, что усовершенствование позволит упростить конструкцию, уменьшить энергоемкость и металлоемкость станка на 35...40%.*

## **Abstract**

### **Self-reactance analysis of val'cevoy of mill**

A. Skorik, V. Polupanov, A. Rusalyov

*The results of calculations of geometrical parameters of the improved machine-tool are in-process resulted for grinding down of grain on the concentrated forage. Preliminary calculations show that an improvement will allow to simplify a construction, decrease the capacity of energy and metal of machine-tool on 35...40%.*