

УДК 631.3:636

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХОДУ СТРУЖКИ З ЛОПАТІ

Луц С. М., аспірант<sup>1</sup>

Харитонов В. І., молодший наук. співроб.

Інститут механізації тваринництва Національної академії аграрних наук України

Тел./ факс: (061) 289-81-44

*Розглянуто особливості визначення параметрів сходу стружки з лопатей фрезерного барабана кидальника про їх установці як вперед, так і назад. Запропоновано застосування коефіцієнту вихідного положення частки, який представляє собою відношення положення будь якої частки призми волочіння до довжини лопаті.*

**Ключові слова:** кидальник, фрезерний барабан, стружка, призма волочіння.

**Проблема.** При визначенні параметрів кидальників, які застосовуються в сільськогосподарських машинах, зазвичай маса, яка розташовується на їх лопатях розглядається як матеріальна точка на приймаючи до уваги її фактичні розміри. Це допустимо, наприклад, для косарок-подрібнювачів і силосних комбайнів, подрібнювальні барабани яких діють на малий шар маси при високому кінематичному показнику роботи. Проте, фрезерні барабани деяких машин, наприклад, аераторів гноє-компостних буртів, мають невисокий показник кінематичного режиму і діють на масив, висота якого перевищує діаметр барабана. У результаті цього на лопаті накопичується великий об'єм відокремленої маси (стружки), сформований у призму волочіння [1]. Тому у цьому разі підхід до маси, розташованої на лопаті, як до матеріальної точки не лише неправомірний, а й не дозволяє вирішити ряд поставлених перед кидальником задач, зокрема, розподілу киданої маси по необхідній довжині чи висоті

**Мета дослідження** полягає у визначенні закономірностей руху стружки, яка представляє собою призму волочіння, по лопаті і зміни параметрів сходу її часток – відносної і абсолютною швидкості та прискорення, кута сходу маси з лопаті і кута розсіювання.

---

<sup>1</sup> Науковий керівник – І. А. Шевченко, чл.-кор. НААН, докт. техн. наук, професор

**Результати дослідження.** Об'єм транспортованої маси, розташованої на лопаті і сформованої у призму волочіння знаходиться під дією ряду сил у досить складних умовах [2, 3]. Допускаючи, що маса, розташована на всій ширині лопаті, має постійну щільність і не пружна [4], площа  $S_c$  перетину стружки (призми волочіння), у проекції, нормальній осі обертання барабану дорівнює

$$S_c = \frac{2\pi R \cdot H}{\lambda} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_c}, \quad (1)$$

де  $R$  – фізичний радіус гвинта – відстань від осі обертання барабану до кінця лопаті;

$H$  – висота фрезерування;

$\lambda$  – показник кінематичного режиму фрезерування,  $\lambda = V/V_n$ ;

$V$  – лінійна швидкість обертання кінця лопаті,  $V = \omega R$ ;

$\omega$  – кутова швидкість обертання барабану;

$V_n$  – швидкість подачі барабану;

$\rho_m, \rho_c$  – відповідно вихідна щільність маси і стружки.

Переріз призми волочіння у дещо спрощеному вигляді порівняно з [3] (лінія призми, який примикає до моноліту виражена прямою, а не циклоїдою), як є насправді, представлено на рисунку 1.

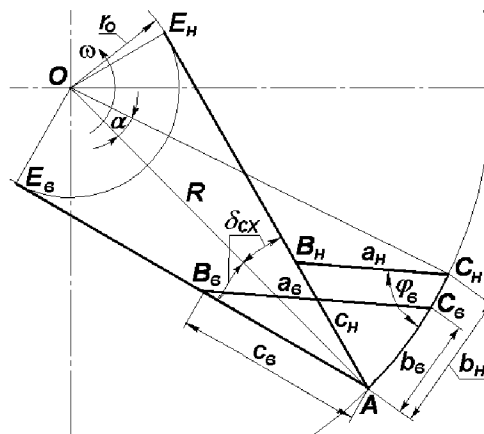


Рисунок 1 – Розташування відокремленої маси на лопаті

На рисунку 1 схематично показано перетини призми волочіння  $AB_nC_n$ , яка формується на лопаті  $AE_n$ , нахиленій назад і призми волочіння  $AB_sC_s$ , яка формується на лопаті  $AE_n$ , нахиленій вперед. Так як перетини  $AB_nC_n$  і  $AB_sC_s$ , які зі спрощеннями, наведеними вище, мають вигляд трикутників, однакової площі, чітко

видно що сторона призми волочіння, яка знаходиться на лопаті, нахилений назад менше за сторону, розташовану на лопаті, нахилений вперед.

Відповідно до трикутників  $ABC$  (рис. 1), не приймаючи до уваги індекси при  $A$  і  $C$ , маємо

$$a = b \cdot \frac{\sin A}{\sin B}, \quad c = b \cdot \frac{\sin C}{\sin B}. \quad (2)$$

Звідки за формулою Герона для трикутника  $ABC$ , представленого на рисунку 1, отримуємо

$$S_c = \frac{b^2}{4} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{\sin A}{\sin B} + \frac{\sin C}{\sin B}\right) \left(1 - \frac{\sin A}{\sin B} + \frac{\sin C}{\sin B}\right)} \times \\ \times \sqrt{\left(1 + \frac{\sin A}{\sin B} - \frac{\sin C}{\sin B}\right) \left(\frac{\sin A}{\sin B} + \frac{\sin C}{\sin B} - 1\right)}. \quad (3)$$

Маючи на увазі, що  $\frac{\alpha}{2} = \arcsin \frac{b}{2R}$  і  $\angle A = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \mp \delta_{cx}$ ,

$\angle B = \frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2} - \varphi_c \pm \delta_{cx}$  та  $\angle C = \varphi_c$  з виразу (3) визначається неявно задана сторона призми волочіння  $b$  і далі знаходиться величина  $c$  сторони призми волочіння, яка лежить на лопаті. Тут і далі верхній знак вживається при відхиленні лопаті назад, нижній – вперед.

З рисунку 1, де перетини  $AB_n C_n$  і  $AB_o C_o$ , мають однакову площу, видно що сторона призми волочіння, яка знаходиться на лопаті, нахилений назад менше за сторону, розташовану на лопаті, нахилений вперед. Це проілюстровано також на рисунку 2, де представлено залежність відношення довжини стружки з постійною площею перетину, розташованої на нахилений лопаті  $l_\varphi$  до її довжини  $l_r$  при розташуванні на радіальній від кута установки самої лопаті, розраховану з використанням виразу (3).

Таким чином що величина сторони призми волочіння, розташована вздовж лопаті залежить від конструкційно-технологічних параметрів і режими роботи фрезерувального барабану та параметрів і фізичних властивостей моноліту і відокремленої маси. Цей показник відіграє одне з вирішальних значень процесу фрезерування, так у відповідності з теорією пружності за принципом Сен-Венана [5] заповняти простір відокремленою масою перед стружкою не можливо і довжина стружки повинна бути не більше довжини лопаті.

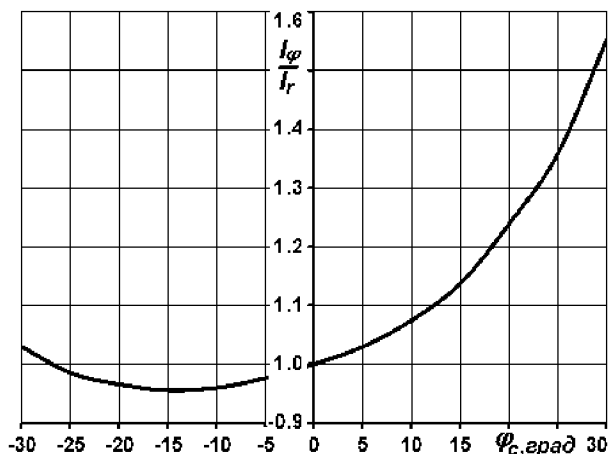


Рисунок 2 – Відношення довжини стружки, розташованій на похилій лопаті до її довжини, розташованій на радіальній

Після закінчення відокремлення маси починається робота лопаті в режимі кидання, тобто відбувається транспортування розташованої на ній стружки під дією інерційних сил, яке завершується її сходом з лопаті.

При аналізі руху частки по лопаті приймаємо її не пружною і нехтуємо силою тяжіння через її незначущість порівняно з іншими силами та впливом повітряного потоку що діють на частку [6–9].

Вихідними даними до розрахунку параметрів кидання є частота обертання, радіус, кут установки лопаті до радіуса, початкове положення стружки, сформованої у призму волочіння, одна із граней якої саме і розташована на лопаті. При визначенні конструкційних параметрів лопатей слід виходити з компромісного рішення щодо забезпечення задовільного подрібнення відокремлюваної маси і подавання її киданням [7, 9].

Умова рівноваги частки, що рухається на лопаті у площині, нормальній до осі барабану, (рис. 3), у векторній формі має вигляд:

$$\bar{P}_{in} = \bar{F}_{oc} + \bar{F}_k + \bar{F}_f, \quad (4)$$

де  $P_{in}$  – сила інерції, направлена вздовж лопаті, яка дорівнює  $P_{in} = ml''$ ;

$F_{oc}$  – відцентрова сила, направлена вздовж миттєвого радіуса положення частки, рівна за модулем  $F_{oc} = m\rho\omega^2$ ;

$F_k$  – сила Коріоліса, направлена по нормалі до площини лопаті в сторону протилежно обертання барабану, за модулем вона дорівнює  $F_k = 2m\omega l'$ ;

$F_f$  – сила тертя, по напрямку протилежну силі інерції, модуль якої становить  $F_f = fN$ ;

$N$  – нормальне зусилля тиску частки на лопать,  $N = F_{\kappa} \mp F_{in} \sin \delta$ ;

$m$  – маса частки;

$\rho$  – поточний радіус положення частки;

$l, l', l''$  – відповідно відносні шлях, швидкість та прискорення частки відносно лопаті.

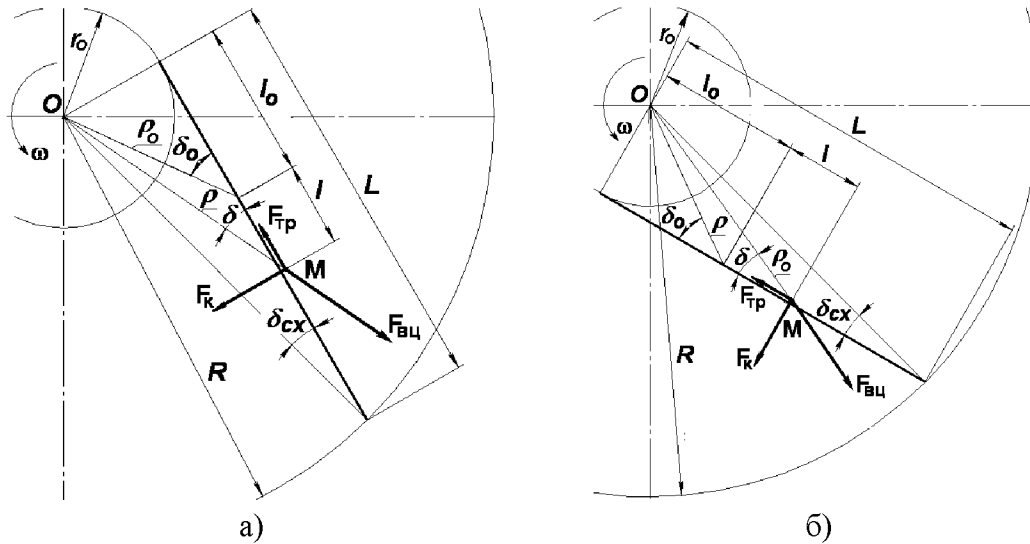


Рисунок 3 – Схема сил, які діють на частку корму при переміщені по лопаті відхиленій назад (а) і вперед (б)

Таким чином виходячи з виразу (4) маємо

$$P_{in} = F_{\eta} \cos \delta - f(F_{\kappa} \mp F_{\eta} \sin \delta), \quad (5)$$

звідки отримуємо

$$l'' = \omega^2 \rho \cos \delta + 2\omega l' f \pm \omega^2 \rho f \sin \delta, \quad (6)$$

З рисунку 3 також видно, що  $\rho \cos \delta = l + l_0$  і  $\rho \sin \delta = r_0$ , де  $l_0$  і  $r_0$  – відповідно початкове положення частки і мінімальний радіус барабана. На основі цього маємо

$$l'' + 2l' \omega f - \omega^2 l = l_0 \omega^2 \pm r_0 f \omega^2. \quad (7)$$

Загальне розв'язання цього рівняння представлено виразом [10]

$$l = l_1 + l^*, \quad (8)$$

де  $l_1, l^*$  – розв’язання рівняння відповідно без правої і з правою частиною. Рівняння без правої частини має вигляд

$$l_1 = C_1 e^{\lambda_1 \psi} + C_2 e^{\lambda_2 \psi}, \quad (9)$$

де  $\lambda_{1,2} = -f \pm \sqrt{1 + f^2}$ ;

$\psi$  – поточний кут повороту лопаті, відлічуваний від виходу її з моноліту;  
 $C_1, C_2$  – постійні інтегрування.

Рівняння з правою частиною представляє собою вираз

$$l^* = -(l_o \pm r_o f), \quad (10)$$

з виразів (9) і (10) вираз (8) отримуємо у вигляді

$$l = C_1 e^{\lambda_1 \psi} + C_2 e^{\lambda_2 \psi} - (l_o \pm r_o f). \quad (11)$$

Постійні інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  знаходиться з початкових умов, тобто початку руху при сході стружки по лопаті, тобто при  $t_o = 0$ . У цей момент  $l = l_o$ , тоді з (11) маємо

$$C_1 + C_2 = l_o \pm r_o f. \quad (12)$$

Так як при  $t_o = 0$  відносна швидкість відсутня, тобто  $l' = 0$ , то прийнявши до уваги що вона змінюється за виразом [11]

$$l' = \omega(\lambda_1 \cdot C_1 e^{\lambda_1 \omega x} + \lambda_2 \cdot C_2 e^{\lambda_2 \omega x}), \quad (13)$$

маємо  $\lambda_1 \cdot C_1 = -\lambda_2 \cdot C_2$ .

Знайшовши  $C_1$  і  $C_2$ , які відповідно становлять  $C_1 = \frac{l_o \pm r_o f}{1 - \lambda_1 / \lambda_2}$  і

$C_2 = \frac{l_o \pm r_o f}{1 - \lambda_2 / \lambda_1}$ , отримуємо значення шляху, пройденого часткою по лопаті

$$l = (l_o \pm r_o f) \left( \frac{\lambda_2 e^{\lambda_1 \psi} - \lambda_1 e^{\lambda_2 \psi}}{\lambda_2 - \lambda_1} - 1 \right). \quad (14)$$

Диференціювання виразу (14) за часом, дає залежність (15) зміни відносної швидкості  $V_r$  частки по лопаті, подальше диференціювання виразу (15) – відносне прискорення (16)

$$V_r = \lambda_1 \lambda_2 (l_o \pm r_o f) \left( \frac{e^{\lambda_1 \psi} - e^{\lambda_2 \psi}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \omega; \quad (15)$$

$$a_r = \lambda_1 \lambda_2 (l_o \pm r_o f) \left( \frac{\lambda_1 e^{\lambda_1 \psi} - \lambda_2 e^{\lambda_2 \psi}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \omega^2, \quad (16)$$

де  $\psi$  – кут повороту лопаті, відлічуваний від виходу її з маси.

Абсолютна швидкість  $V_a$  частки визначається за виразом

$$V_a = \sqrt{V_e^2 + V_r^2 \mp 2V_e V_r \cos \delta}, \quad (17)$$

де  $V_e$  – переносна швидкість, яка становить  $V_e = \sqrt{r^2 + (l_o + l)^2} \cdot \omega$ .

Кут  $\gamma$  її сходу з лопаті (кут між векторами  $\overline{V}_a$  абсолютної і переносної  $\overline{V}_e$  швидкості) становить

$$\gamma = \arcsin \left[ \left( \frac{V_r}{V_a} \right) \cos \delta_{cx} \right], \quad (18)$$

де  $\delta_{cx}$  – кут між лопаттю і радіусом барабана.

У зв'язку з тим, що  $V_r = f(\psi)$  і  $V_a = f(\psi)$  кут  $\gamma$  не постійний, а змінюється в процесі обертання барабану, точка сходу частки теж змінюється з поворотом барабану і траєкторії часток утворюють кут розкиду  $\theta$ , який становить

$$\theta = \varphi - \gamma, \quad (19)$$

де  $\varphi$  – кут повороту барабані при сході маси з лопаті.

При визначенні величин  $l$ ,  $V_r$ ,  $V_a$ ,  $a_r$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$  нами пропонується метод геометричного моделювання, прийнявши радіус барабана  $R$  і кутову швидкість його обертання  $\omega$  (рис. 2) рівними одиниці [12].

Тоді для розгляду моменту відриву частки від лопаті, тобто при  $\rho = R$ , застосуємо коефіцієнт вихідного положення частки, позначивши його  $k = l_o/L$  і  $r_o/L$

$= \operatorname{tg} \varphi_{cx}$ , де  $l_o$  і  $\rho_o$  – початкове положення частки на лопаті і початковий поточний радіус положення частки, тобто положення найближчих до осі обертання кидальника часток стружки, розташованої на лопаті (див. рис. 3).

$$k = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1(e^{\lambda_1\psi} - 1) - \lambda_2(e^{\lambda_2\psi} - 1)} \pm f \cdot \operatorname{tg} \delta_{cx}. \quad (20)$$

Розділивши рівняння (15) і (16) відповідно на  $L\omega$  і  $L\omega^2$ , маємо значення одиничної відносної швидкості (21) і прискорення (22)

$$V_{r1} = \lambda_1 \lambda_2 (k \pm f \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cx}) \left( \frac{e^{\lambda_1\psi} - e^{\lambda_2\psi}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right); \quad (21)$$

$$a_{r1} = \lambda_1 \lambda_2 (k \pm f \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cx}) \left( \frac{\lambda_1 e^{\lambda_1\psi} - \lambda_2 e^{\lambda_2\psi}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right). \quad (22)$$

Також використовуючи вираз (17) визначається одинична абсолютна швидкість  $V_{a1}$  та за виразами (18) і (19) відповідно кут  $\gamma$ ї сходу з лопаті і кут розкиду  $\theta$ , який змінюється в процесі обертання фрезерного барабана.

Пояснення цього методу наведено графічним представленням зміни залежностей одиничних значень відносної швидкості  $V_{r1}$ , абсолютної швидкості  $V_{a1}$  та відносного прискорення  $a_{r1}$  елемента стружки від її коефіцієнт вихідного положення  $k$ , прийнятого у частках радіуса при  $f = 0,85$  і радіальній установці лопатей, поданого на рисунку 4, де ілюструються графічні представлення зміни залежностей кутів між вектором одиничної  $\overline{V}_{a1}$  швидкості сходу елемента стружки і лопаттю  $\gamma$ , розсіювання  $\theta$  при повному сході з лопаті, повороту барабану  $\varphi_{cx}$  від її вихідного положення  $k$ .

Окрім графічного представлення на рисунку 4 можуть служити номограмами розрахунку параметрів сходу маси з лопаті у залежності від розмірів призми волочіння, утвореної стружкою на лопаті.

Наприклад, якщо довжина стружки становить 0,2 довжини лопаті, коефіцієнт вихідного положення становитиме 0,8. Таким чином частки стружки, розташовані в інтервалі від  $0,8 \leq k \leq 1$  і закономірності їхнього руху характеризуються відповідними кривими цього інтервалу.



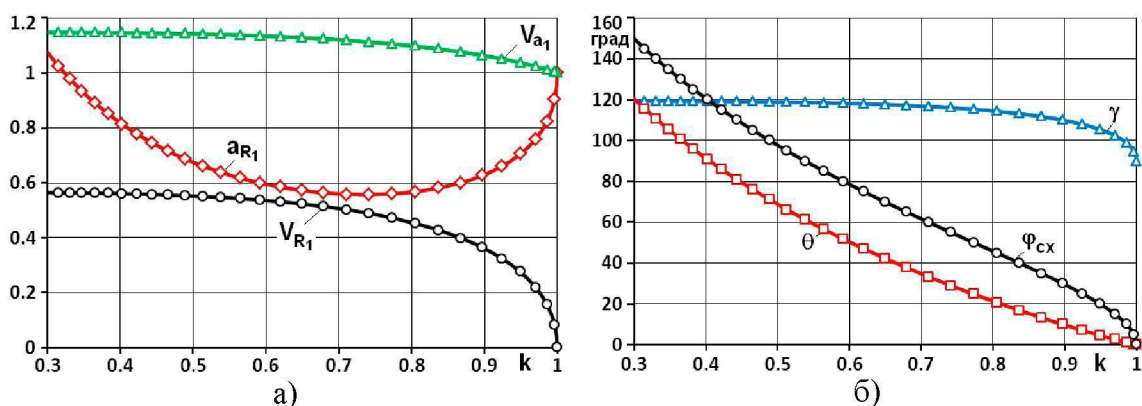


Рисунок 4 – Зміна одиничних значень відносної  $V_{R1}$  і абсолютної  $V_{a1}$  швидкості та прискорення  $a_{R1}$  стружки (а) і кутів сходу стружки з лопаті  $\gamma$ , розсіювання  $\theta$  та повороту барабану до сходу її з лопаті  $\varphi_{cx}$  (б) від вихідного положення  $k$

**Висновки.** При визначенні необхідних параметрів сходу відокремленої стружки з лопаті барабана кидальника застосування коефіцієнту вихідного положення частки, який представляє собою відношення вихідного положення будь якої частки перетину призми волочіння, сформованої стружкою, розташованої на лопаті, до довжини самої лопаті, значно спрощує процес аналітичних розрахунків, а використання його у поєднанні з барабаном одиничного радіуса, який обертається з одиничною швидкістю, дає змогу використовувати для цієї мети ілюстративні номограми.

#### Перелік посилань

1. Харитонов В. І. Змішувач-аератор гное-компостних сумішей / В. І. Харитонов // Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку народногосподарського комплексу: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Міжнародна науково-практична конференція, – Львів : «Львівська аграрна фундація», 2012. – С. 25–27.
2. Василенко П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К. : Изд-во УАСХН, 1960.
3. Киселев А. В. Определение параметров призмы волочения фрезбарабана разгрузчика силосных траншей / А. В. Киселёв // Сб. : Научно-технический бюллетень по механизации и электрификации животноводства. Механизация кормопроизводства. – Запорожье, 1975. – Вып. 4. – С. 108–112.

4. Зуев В. А. Вопросы теории вентилятора броскового типа / В. А. Зуев, В. В. Красников // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1962. – № 5.

5. Демидов С. П. Теория упругости / С. П. Демидов. – М. : Высш. школа, 1970. – 432 с.

6. Василенко П. М. К методике составления дифференциальных уравнений движения частицы материала по фрикционным рабочим поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К. : Техника, 1973. – Вып. 3. – С. 37–51.

7. Власов М. М. Оптимізація параметрів шарнірних ножів роторного підрибнювача / М. М. Власов // Вісник сільськогосподарської науки. – К., 1997. – № 10. – С. 48–49.

8. Заика П. М. Моделирование материальной точкой процессов перемещения семенных смесей / П. М. Заика, Ю. И. Кросовицкий // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К. : Техника, 1991. – Вып. 21. – С. 36–40.

9. Корневич Л. П. К теории движения растительных частиц по передней грани ножа / Л. П. Корневич // Тр. Белорус. ин-та механиз. сел. хоз-ва. – Минск, 1989. – Вып. 12. – С. 41–46.

10. Пискунов И. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов / И. С. Пискунов. – Т. 1. – М. : Наука, 1985. – 432 с.

11. Векуа Н. П. Некоторые вопросы теории дифференциальных уравнений и приложения в механике / Н. П. Векуа. – М. : Наука, 1991. – 256 с.

12. Болтянский О. В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров отделителя-измельчителя машины для выгрузки стебельных кормов из траншей : автореф. дис. на получение научной степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизац. с.-х. производства» / О. В. Болтянский. – Мелитополь, 1993 г. – 16 с.

## THE DEFINITION OF THE CHIP PARAMETERS FROM A BLADE

**Summary.** The definition of the chip parameters features from the milling drum thrower blades, installed either on the front, or on the back side, have been described. The application of the initial fraction position factor, which is the ratio of any drawing prism position and the shovel length, has been suggested.