

## АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ НА ПРИВОД РОБОЧОГО ОРГАНА БАРАБАННОГО ПОДРІБНЮВАЧА-РОЗПОДІЛЮВАЧА СТЕБЕЛ РОСЛИН І ПОЖНИВНИХ ЗАЛИШКІВ

**Говоров Олександр Федорович** к.т.н., старший науковий співробітник  
Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського  
господарства” ННЦ «ІМЕСТ»

**Govorov O.**

National scientific centre “institute for agricultural engineering and electrification” NSC «IAEE»

**Анотація:** розроблені аналітичні залежності для визначення потужностей на перерізування стебел рослин, переміщення по кожусі барабанного робочого органа і на надання подрібнених частинок швидкості, які в сумі складають потужність на привод барабанного робочого органа подрібнювача-розподільовача рослин і поживних залишків.

**Ключові слова:** поживні залишки, подрібнювач-розподільовач, барабанний робочий орган, горизонтальна вісь, тримач, ніж, шарнір, колова швидкість, потужність.

### Постановка проблеми

Для збагачення ґрунтів органічними речовинами у передових аграрних країнах, крім гною, широко використовуються поживні рештки, які залишаються на полях після збирання урожаю сільськогосподарських культур. Це стерня, стебла бур'янів, солома.

Для ефективного використання таких залишків їх необхідно подрібнити на частинки довжиною до 15 см і рівномірно розподілити по поверхні поля, а потім загорнути у ґрунт на глибину не менше 10 см. Для механізації виконання цих операцій необхідні спеціальні машини і їх виробництво в нашій країні уже розпочалось, але наукове обґрунтування їх параметрів і режимів роботи відсутнє взагалі.

### Аналіз останніх публікацій

Для необхідного подрібнення рослин і поживних залишків та рівномірного розподілення подрібнених частинок по поверхні поля в розвинутих країнах широко використовуються подрібнювачі-розподільовачі різних конструкцій, в тому числі, і з робочим органом у вигляді подрібнювального барабана з горизонтальною віссю обертання, які одержали назву барабаних [1].

Такі машини створюються і в нашій країні. Зокрема, підприємство „Білоцерків МАЗ” розробило такі навісні барабанні подрібнювачі-розподільовачі ПН-2М і ПН-4 з шириною захвату відповідно 2 і 4 м [2].

Крім того бердянське підприємство „Агроремаш” виготовило партію причіпних подрібнювачів-розподільовачів ПР-2,6, а підприємство „Бердянськсільмаш” партію подібних машин ПРУ-2,8 [2].

Однак, необхідно відмітити, що наукове обґрунтування конструкцій і оптимальних параметрів таких машин відстає від конструкторських розробок. Тому в 2006 році із трьох таких машин – ПН-2,0М, ПР-2,6 і ПРУ-2,8, які проходили агротехнічну оцінку в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, жодна машина не забезпечила необхідних показників якості робочого процесу, які б відповідали агротехнічним вимогам [2].

**Мета наукової роботи** – розробити аналітичні залежності для визначення енергоємності приводу робочого органу барабанного подрібнювача-розподільовача рослин і поживних залишків.

### Результати досліджень

Потужність необхідна для приводу робочого органа барабанного подрібнювача-розподільовача рослин і поживних залишків складається із таких величин:

$$N_{\Pi} = N_p + N_f + N_v, \quad (1)$$

де  $N_{\Pi}$  – потужність необхідна для приводу робочого органа барабанного подрібнювача-розподільовача поживних залишків, Вт;

$N_p$  – потужність на перерізування стебел рослин, Вт;

$N_f$  – потужність на переміщення подрібнених частинок стебел по кожусі барабана, Вт;

$N_v$  – потужність для надання подрібненим частинкам стебел робочої швидкості, Вт.

Для забезпечення надійності робочого процесу подрібнювача-розподільовача при подрібненні



усіх видів поживних залишків розрахунки потужності на його привод необхідно здійснювати за показниками, одержаними при подрібненні найбільш енергоємних рослин і їх залишків.

В господарствах нашої країни найбільш енергоємним поживним залишком є стерня кукурудзи.

Потужність на перерізування таких стернин визначається через енергоємність одного перерізування стернини, яка визначається експериментальним способом, і кількості перерізувань за одиницю часу за такою формулою:

$$N_p = E_{II} n_{II}, \quad (2)$$

де  $E_{II}$  – енергоємність одного перерізування стернини, Вт;

$n_{II}$  – кількість перерізувань стерні за одиницю часу,  $c^{-1}$ .

Кількість перерізувань стерні та відрізаних її частинок за одиницю часу визначається за формулою:

$$n_{II} = B_p v_p n_a n_c \frac{(H_c - h_{II})}{\ell_{II}}, \quad (3)$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвату подрібнювача-розподілювача, м;

$v_p$  – робоча швидкість подрібнювального агрегату, м/с;

$n_a$  – агротехнічна норма вирощування рослин на  $m^2$ ,  $m^{-2}$ ;

$n_c$  – середня кількість стебел, що має одна рослина;

$H_c$  – середня висота стерні, м;

$h_{II}$  – висота зрізування стерні подрібнювачем-розподілювачем, м;

$\ell_{II}$  – середня довжина подрібненої частинки стерні, м.

Для визначення середньої довжини частинки стерні використовуємо схему наведену на рис. 1, з якої випливає, що подрібнення стерні розпочинається в точці  $A$ , в якій з верхньою частинкою стернин вперше взаємодіє різальна кромка ножа барабана, яка рухається по колу з радіусом  $R_p$ . В результаті руху агрегату наступними різальними кромками ножів також відрізуються частинки стернини і її висота  $H_c$  поетапно знижується до  $h_{II}$ , тобто до висоти стерні, яка залишається на полі після проходження подрібнювача-розподілювача. При цьому подрібнення стернини здійснюється на ділянці поля, довжина якої дорівнює відрізку  $AB$ .

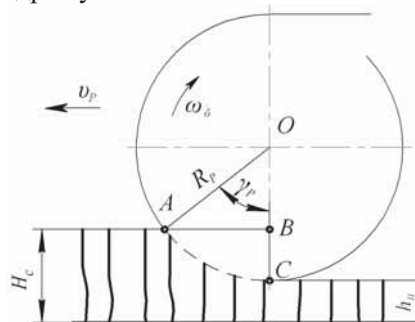


Рис. 1. Схема для визначення середньої довжини подрібненої частинки стебла

Відрізок  $AB$  визначимо із трикутника  $AOB$  за залежністю:  $AB = R_p \sin \gamma_p$ , а кут  $\gamma_p$  визначимо із цього ж трикутника наступним чином:  $\cos \gamma_p = \frac{OB}{R_p}$ , а  $OB = R_p - (H_c - h_{II})$ . Тому  $\cos \gamma_p = \frac{R_p - (H_c - h_{II})}{R_p}$ , а

$$\gamma_p = \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_{II})]}{R_p}.$$

Виходячи з цього довжина відрізка  $AB$  дорівнює:

$$AB = R_p \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_{II})]}{R_p}, \quad (4)$$

Час подрібнення однієї стернини визначається за формулою:

$$t_p = \frac{AB}{v_p} = \frac{R_p \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_{II})]}{R_p}}{v_p}, \quad (5)$$

де  $t_p$  – час подрібнення однієї стернини, с.

Кут повороту подрібнювального барабана за час  $t_p$  визначається із залежності:



$$\varphi_{\delta} = \omega_{\delta} t_p = \frac{\omega_{\delta} R_p \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_n)]}{R_p}}{v_p}, \quad (6)$$

де  $\omega_{\delta}$  – кутова швидкість подрібнювального барабана,  $\text{с}^{-1}$ .

А кількість частинок, на які розділяється подрібнена стернина, визначається за формулою:

$$n_{\nu} = \frac{n_p \varphi_{\delta}}{2\pi} = \frac{n_p \omega_{\delta} R_p \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_n)]}{R_p}}{2\pi v_p}, \quad (7)$$

де  $n_{\nu}$  – кількість частинок, на які розрізана стернина;

$n_p$  – кількість рядів ножів у подрібнювальному барабані.

Середня довжина подрібнених частинок стернини визначається із такої залежності:

$$l_{\nu} = \frac{H_c - h_n}{n_{\nu}} = \frac{2\pi v_a (H_c - h_n)}{n_p \omega_{\delta} \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_n)]}{R_p}}, \quad (8)$$

Підставивши в рівняння (3) значення  $l_{\nu}$  із рівняння (8) одержали:

$$n_{\Pi} = \frac{B_p n_a n_c n_p \omega_{\delta} \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_n)]}{R_p}}{2\pi}. \quad (9)$$

А потужність на перерізування стернин одержали після підстановки значення  $n_{\Pi}$  із рівняння (9) в рівняння (2):

$$N_p = \frac{E_{\Pi} B_p n_a n_c n_p \omega_{\delta} \sin \arccos \frac{[R_p - (H_c - h_n)]}{R_p}}{2\pi}, \quad (10)$$

Потужність на переміщення подрібнених частинок по кожуху подрібнювального барабана визначається за формулою:

$$N_f = f_{\nu} \omega_{\delta} F_{\nu} R_K \left( \frac{\phi_K^{\circ}}{360^{\circ}} \right), \quad (11)$$

де  $f_{\nu}$  – коефіцієнт тертя подрібнених частинок по внутрішній поверхні кожуха;

$F_{\nu}$  – відцентрова сила, з якою тиснуть подрібнені частинки на кожух під час руху по ньому, Н;

$R_K$  – радіус внутрішньої поверхні кожуха барабана, м;

$\phi_K^{\circ}$  – кут покриття кожухом поверхні подрібнювального барабана, град.

Відцентрова сила, з якою подрібнені частинки притискуються до поверхні кожуха барабана визначається через масу частинок, що проходять через кожух за одиницю часу, кутову швидкість подрібнювального барабана і радіус кола, що проходить через середину товщини шару частинок, що рухаються по поверхні кожуха, тобто:

$$F_{\nu} = m_{\nu} \omega_{\delta}^2 R_{\nu}, \quad (12)$$

де  $m_{\nu}$  – маса частинок, що переміщуються по кожуху за одиницю часу, кг/с.

$R_{\nu}$  – радіус кола, що проходить через середину товщини шару частинок на поверхні кожуха.

Маса частинок, що переміщуються по поверхні кожуха за одиницю часу визначаємо через масу одиниці довжини стернини і загальну довжину стерні, що подрібнюється за цей час. При цьому:

$$m_{\nu} = q_c B_p v_p n_a n_c (H_c - h_n), \quad (13)$$

де  $q_c$  – маса одиниці довжини стернини, кг/м.

Товщина шару подрібнених частинок, що рухаються по кожусі барабана визначається через масу частинок, що переміщуються по поверхні кожуха за одиницю часу, щільність їх укладання (розміщення) і ширину захвату різального апарата за такою формулою:

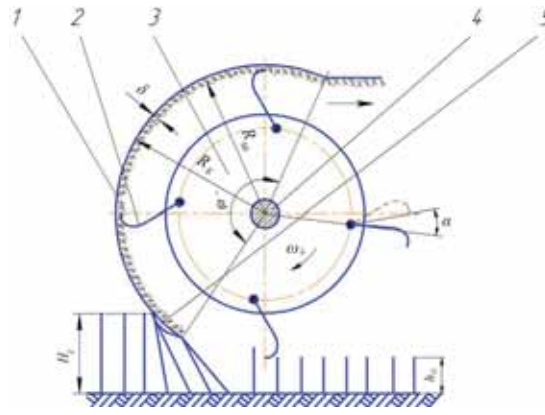
$$\delta = \frac{m_{\nu}}{\gamma B_p}, \quad (14)$$

де  $\delta$  – товщина шару подрібнених частинок, що рухаються по поверхні кожуха, м;

$\gamma$  – щільність розміщення (укладання) подрібнених частинок,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Після підстановки значення  $m_{\nu}$  із рівняння (13) в рівняння (14) одержано:

$$\delta = \frac{q_c v_p n_a n_c (H_c - h_n)}{\gamma}. \quad (15)$$



**Рис. 2. Схема робочого процесу подрібнювального барабана: 1-кожух; 2-ніж; 3-тримач ножів; 4-вал; 5-протирізальний упор**

Після цього радіус кола  $R_{ш}$ , що проходить через середину товщини шару подрібнених частинок, буде дорівнювати:

$$R_{ш} = R_K - \frac{\delta}{2}, \quad (16)$$

або після підстановки значення  $\delta$  із рівняння (15) будемо мати:

$$R_{ш} = R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z}. \quad (17)$$

Після підстановки значення  $m_z$  з рівняння (13) та значення  $R_{ш}$  з рівняння (17) в рівняння (12) одержимо:

$$F_{ш} = q_c B_P \nu_P \omega^2 n_a n_c (H_c - h_{п}) \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right]. \quad (18)$$

А після підстановки в рівняння (11) значення  $F_{ш}$  з рівняння (18) потужність на переміщення подрібнених частинок по кожусі барабана буде дорівнювати:

$$N_f = f_r q_c \omega_6^3 B_P \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п}) \frac{\phi_K^\circ}{360^\circ} \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right]. \quad (19)$$

Енергоємність на надання швидкості подрібненим частинкам стебел рослин можна визначити за відомою формулою:

$$N_v = \frac{m_z \omega_6^2 R_{ш}^2}{2}. \quad (20)$$

А після підстановки в рівняння (20) значень  $m_z$  з рівняння (13) і  $R_{ш}$  з рівняння (16) формула для визначення потужності на надання швидкості подрібненим частинкам буде мати такий вид:

$$N_v = \frac{q_c \omega_6^3 B_P \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2} \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right]^2. \quad (21)$$

З урахуванням значень потужності на перерізування стебел із рівняння (10), потужності на переміщення частинок подрібнених стебел по кожусі барабана із рівняння (19) і потужності на надання швидкості подрібненим частинкам із рівняння (21) формула для визначення потужності необхідної для роботи подрібнювального барабана з горизонтальною віссю обертання буде такою:

$$N_{п} = \frac{E_{п} B_P n_a n_c n_p \omega_6 \sin \alpha \arccos \left[ \frac{R_p - (H_c - h_{п})}{R_p} \right]}{2\pi} + f_4 q_c \omega_6^3 B_P \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п}) \frac{\phi_K^\circ}{360^\circ} \times$$

$$\times \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right] + \frac{q_c \omega_6^3 B_P \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2} \times$$

$$\times \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right]^2 = B_P \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п}) \left\{ \frac{E_p}{l_4} + f_4 q_c \omega_6^3 \frac{\phi_K^\circ}{360^\circ} \times \right.$$

$$\left. \times \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right] + \frac{q_c \omega_6^3 \left[ R_K - \frac{q_c \nu_P n_a n_c (H_c - h_{п})}{2z} \right]^2}{2} \right\}. \quad (22)$$

**Висновок**

Потужність на привод різального барабана подрібнювача-розподільвача рослин і поживних залишків складається із потужності на перерізування стебел рослин, потужності на переміщення подрібнених частинок по кожусі барабана і потужності на надання подрібненим частинкам швидкості і аналітичним шляхом її можна визначити за формулою 22.

**Список літератури**

1. Говоров О., Дудак С., Вольський В. // Аналіз конструкцій подрібнювачів рослинних решток // Вісник Львівського національного аграрного університету. – Агроінженерні дослідження. – № 12. – Львів. – 2008. – Т. 1. – С. 422-425.
2. Атаманюк О. Розробка подрібнювачів-розподільвачів рослинних решток загальною проблемою сучасного рослинництва // Техніка АПК – 2007. – № 8-9. – С.23-24.

**References**

1. Hovorov O., Dudak S., Volsky V. // Analiz konstruktsiy podribnyuvachiv roslynnykh reshtok // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. - Ahroinzhenerni doslidzhennya . - № 12. - Lviv . - 2008. - T. 1. - S. 422-425.
2. Atamanyuk O. Rozrobka podribnyuvachiv - rozpodilyuvachiv roslynnykh reshtok Nahalne problema suchasnoho roslynnytstva // Tekhnika APK - 2007. - № 8-9. - S.23-24 .

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ НА ПРИВОД РАБОЧЕГО ОРГАНА БАРАБАННОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ СТЕБЛЕЙ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ**

**Аннотація:** розробані аналітичні залежності для визначення потужності на перерезування стебел рослин, переміщення измельчених частинок по кожусю режущого апарата і для придання швидкості измельченим частинам, які в сумі складають потужність на привод ротаційного режущого апарата измельчителя-розподільця поживних залишків.

**Ключевые слова:** поживні залишки, измельчитель-розподільця, барабанний робочий орган, горизонтальна ось, держатель, ніж, шарнір, окружна швидкість, потужність.

**ANALYTICAL DETERMINATION POWER TO DRIVE WORKING BODY DRUM CHIPPER DISTRIBUTION STEMS OF PLANTS AND VEGETATION RESIDUES**

**Summary:** analytical dependence for determining the power to cutting the stem of the plant, moving the particles crushed by the cutting unit and the casing to impart velocity divided particles, which together constitute the power to drive the rotating cutting device-shredder residue distributor.

**Keywords:** crop residues, chopper distribution, drum actuator, horizontal axis, holder, chopper, hinge, peripheral speed, power.