



СТОРІНКА
МОЛОДОГО ВЧЕНОГО

УДК 631.352

ЕНЕРГОЄМНІСТЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ НОЖА РІЗАЛЬНОГО АПАРАТА ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ РЕШТОК З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ*

О.Ф. Говоров, наук. співр.

ІНЦ "ІМЕСГ"

Приведено розроблені теоретичні залежності для визначення енергоємності ножа різального апарата — подрібнювача рослинних решток з вертикальною віссю обертання і шарнірним закріпленням ножів, у залежності від кута його відхилення відносно радіального положення.

Проблема. В даний час в землеробстві країни розширюються обсяги застосування поверхневого і нульового обробітку ґрунту. При цьому виникає проблема зароблення у ґрунт рослинних решток, в першу чергу соломи після збирання зернових та стерні грубостеблових культур (кукурудзи, соняшнику і інш.).

За кордоном широко використовуються різноманітні машини для скошування та подрібнення рослинних решток і їх рівномірного розподілу по поверхні ґрунту, а в нашій країні запровадження таких машин тільки розпочинається.

У праці [1] наведений аналіз конструкцій таких машин, в результаті якого обґрунтовано, що раціональною конструкцією технічного засобу для подрібнення рослинних решток для нашої країни є машина з

* Науковий керівник — д.т.н., академік НААН України **Я.С. Гуков**.

© О.Ф. Говоров.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 94. 2010.

вертикальною віссю обертання різального апарата і шарнірним закріплення ножів.

Найбільш складною і невирішеною проблемою при створенні таких машин є аналітичне визначення залежності затрат енергії на робочий процес різального апарата від кута відхилення його ножів відносно радіального положення, оскільки від нього залежать параметри основного робочого елемента подрібнювача — ножа та режим його роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження по визначенню параметрів робочого органу для скошування рослин з вертикальною віссю обертання розпочались у колишньому СРСР ще в 1957 році [2]. В результаті було встановлено аналітичну залежність для визначення робочої довжини ножів та експериментально визначено їх кутову критичну лінійну швидкість, при якій відбувається зрізування вільно стоячих рослин без опори.

Автори праці [3] намагались визначити енергоємність робочого процесу різального апарата в залежності від кута відхилення його ножів відносно радіального положення, але вони допускали, що відцентрова сила ножа, яка викликає тертя в шарнірі його закріплення є постійною.

Автор праці [4] також визначав залежність енергоємності робочого процесу різання стебла кукурудзи від кута відхилення ножів, але він не тільки приймав, що відцентрова сила, яка обумовлює силу тертя в шарнірі закріплення ножа, є величиною постійною, а крім того, на думку автора, ця сила не сприяє перерізуванню рослинних решток, а навпаки, перешкоджає.

Мета досліджень. Метою досліджень є розробка аналітичних залежностей для визначення енергоємності ножів різального апарата-подрібнювача рослинних решток в залежності від кута їх відхилення відносно радіального положення.

Результати досліджень. При роботі різального апарата-подрібнювача рослинних решток з вертикальною віссю обертання і шарнірним закріпленням ножів 4 (див. рис.) його приводний вал 1 обертається з частотою близькою до 3000 хв^{-1} під дією відцентрових сил, які визначаються за формулою, наведеній у праці [5]:

$$P_o = m_n \omega^2 (R + L_c), \quad (1)$$

де P_o — відцентрова сила, що діє на ніж при холостому обертанні апарата, Н; m_n — маса ножа, кг; ω — кутова швидкість обертання вала 1, рад/с; R — радіус кола обертання осі шарніра 3, м; L_c — відстань від осі шарніра 3 до центра маси С ножа 4.

При радіальному положенні I ножа 4 його центр маси C лежить на радіусі R_0 , що проходить через вісь шарніра 3 його кріплення до тримача 2 і тому відцентрова сила P_0 , яка діє на ніж, повністю врівноважується вищеназваним шарніром.

При зустрічі ножа 4 з рослинними рештками відбувається їх перерізування і під дією сил опору рослинних решток ножу, він відхиляється від радіального розміщення на кут α і займає положення II.

При цьому на перерізування рослинних решток витрачається енергія, яка передається від ножа 4 на стебло за рахунок його відхилення на кут α . Цю енергію можна визначити за формулою, наведеною у праці [6]:

$$E = \int_0^{\alpha} \mu_{\alpha} d\alpha, \quad (2)$$

де μ_{α} — сумарний момент, який діє на ніж відносно шарніра 3 при його відхиленні від радіального положення на кут α .

При відхиленні ножа 4 від радіального положення на кут α , нова відцентрова сила P_{α} , вектор якої діє вздовж іншого радіуса R_{α} , розкладається на дві складові сили — радіальну P_T і колову P_K .

Вектор радіальної сили $P_T = P_{\alpha} \cos \beta$, де β — кут між складовими P_T і P_K , діє вздовж середньої лінії ножа 4 і зрівноважується шарніром 3. Ця сила обумовлює силу тертя в шарнірі 3 $F = fP_T$ між ножом 4 і шарніром 3, де f — коефіцієнт тертя між матеріалами ножа 4 і шарніра 3.

Ця сила обумовлює момент тертя $m_{T\alpha}$ між ножом 4 і шарніром 3, який визначається із залежності:

$$\mu_{T\alpha} = \frac{P_{\alpha} f d_{\text{ш}} \cos \beta}{2}, \quad (3)$$

де $d_{\text{ш}}$ — діаметр шарніра, м.

Цей момент буде чинити опір відхиленню ножа від радіального положення і таким чином брати участь у перерізуванні стебла рослини.

Вектор колової сили $P_K = P_{\alpha} \sin \beta$ спрямований перпендикулярно до середньої лінії ножа і обумовлює поворотний момент $\mu_{K\alpha}$ ножа 4, навколо шарніра 3, який дорівнює:

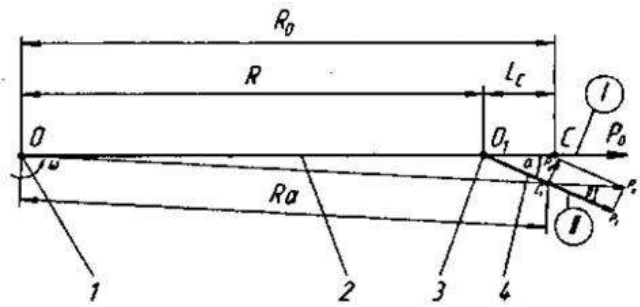


Рис. Схема різального апарата з вертикальною віссю обертання: 1 — приводний вал; 2 — тримач; 3 — шарнір закріплення ножа; 4 — ніж

$$\mu_{K\alpha} = P_{\alpha} L_c \sin\beta, \quad (4)$$

Цей момент спрямований проти напрямку відхилення ножа від радіального положення і буде забезпечувати перерізування стебла рослини.

Тому з урахуванням значення $\mu_{T\alpha}$ із рівняння (3) і $\mu_{K\alpha}$ із рівняння (4), сумарний момент, який діє на ніж 4 при його відхиленні від радіального положення на кут α відносно шарніра 3 при закінченні перерізування рослинних решток, буде дорівнювати:

$$\mu_{\alpha} = \mu_{T\alpha} + \mu_{K\alpha} = P_{\alpha} \left(\frac{fd_{\text{ш}} \cos\beta}{2} + L_c \sin\beta \right). \quad (5)$$

Відцентрова сила P_{α} , що діє на ніж 4 при його відхиленні від радіального положення на кут α , дорівнює:

$$P_{\alpha} = m_n \omega^2 R_{\alpha}, \quad (6)$$

де R_{α} — радіус кола обертання центра маси ножа при його відхиленні на кут α , м.

Із трикутника OO_1C_1

$$OC_1 = R_{\alpha} = \sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha}.$$

Підставивши це значення R_{α} в рівняння (6), будемо мати:

$$P_{\alpha} = m_n \omega^2 \sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha}. \quad (7)$$

Із цього ж трикутника OO_1C_1

$$R^2 = R_{\alpha}^2 + L_c^2 - 2R_{\alpha} L_c \cos\beta,$$

$$\text{а } \cos\beta = \frac{R_{\alpha}^2 - R^2 + L_c^2}{2R_{\alpha} L_c},$$

або підставивши в це рівняння значення R_{α} із рівняння (7), будемо мати:

$$\begin{aligned} \cos\beta &= \frac{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha - R^2 + L_c^2}{2L_c \sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha}} = \frac{2L_c(L_c + R \cos\alpha)}{2L_c \sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha}} = \\ &= \frac{(L_c + R \cos\alpha)}{\sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c \cos\alpha}}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 \text{a } \sin\beta &= \sqrt{1 - \cos\beta} = \sqrt{1 - \frac{(L_c + R\cos\alpha)^2}{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}} = & (9) \\
 &= \sqrt{\frac{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha - R^2\cos^2\alpha - 2L_cR\cos\alpha}{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}} = \\
 &= \sqrt{\frac{R^2(1 - \cos^2\alpha)}{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}} = \frac{R\sin\alpha}{\sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}}.
 \end{aligned}$$

Підставивши в рівняння (2) значення μ_α із рівняння (5), значення P_α із рівняння (7) та значення $\sin\beta$ і $\cos\beta$ відповідно з рівняння (9) і (8) будемо мати.

$$\begin{aligned}
 E &= m_H \omega^2 \int_0^\alpha \sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha} \times \\
 &\times \left[\frac{fd_{III}(L_c + R\cos\alpha)}{2\sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}} + L_c \frac{R\sin\alpha}{\sqrt{R^2 + L_c^2 + 2RL_c\cos\alpha}} \right] d\alpha = \\
 &= m_H \omega^2 \left[\frac{1}{2} \int_0^\alpha fd_{III}(L_c + R\cos\alpha) d\alpha + L_c R \int_0^\alpha \sin d\alpha \right] = \\
 &= m_H \omega^2 \left[\frac{1}{2} fd_{III}(L_c\alpha + R\sin\alpha) + L_c R(-\cos\alpha) \Big|_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha} \right] = \\
 &= m_H \omega^2 \left[\frac{1}{2} fd_{III}(L_c\alpha + R\sin\alpha) - L_c R(\cos\alpha - 1) \right] = \\
 &= m_H \omega^2 \left[\frac{fd_{III}L_c}{2} \alpha - \frac{fd_{III}R}{2} \sin\alpha - L_c R\cos\alpha + L_c R \right]. & (10)
 \end{aligned}$$

Рівняння (10) повністю відображає суть робочого процесу ножа різального апарата-подрібнювача рослинних решток з вертикальною віссю обертання і тому має наукову цінність. Однак воно досить складне і тому незручне для практичного використання творцями нової техніки (науковцями, конструкторами та випробувальниками машин).

Разом з тим, аналіз конструкцій реальних різальних апаратів такого типу показує, що радіус R кола обертання осі шарніра 3 закріплення ножа 4 у більше як 10 разів перевищує відстань L_c від осі цього ж шарніра до центра маси ножа 4.

Тому при відхиленні ножа 4 від радіального положення на кут α , який не перевищує 30° , радіус R_α кола обертання центра маси S ножа 4 R_α відрізняється від R_0 не більше, як на 2%. Крім того, при таких значеннях кута α середнє значення кута β відрізняється від відповідного значення кут α не більше, як на 3%.

Тому для практичних розрахунків при розробленні таких різальних апаратів цілком допустимо прийняти, що $R_\alpha = R_0 = R + L_c$, а кут β дорівнює куту α , тобто $\beta = \alpha$.

При цьому $P_\alpha = P_0$, $P_T = P_0 \cos \alpha$, а $P_K = P_0 \sin \alpha$.

Після підстановки цих значень в рівняння (3) воно буде мати вигляд:

$$\mu'_{T\alpha} = \frac{m_H \omega^2 (R + L_c) + f d_{III} \cos \alpha}{2}, \quad (11)$$

а рівняння (4) відповідно:

$$\mu'_{K\alpha} = m_H \omega^2 (R + L_c) \sin \alpha. \quad (12)$$

Після підстановки нових значень $\mu'_{T\alpha}$ і $\mu'_{K\alpha}$ відповідно із рівнянь (11) і (12) в рівняння (5) сумарний момент буде дорівнювати:

$$\mu'_\alpha = \mu'_{T\alpha} + \mu'_{K\alpha} = m_H \omega^2 (R + L_c) \left(\frac{f d_{III}}{2} \cos \alpha + L_c \sin \alpha \right), \quad (13)$$

а сумарна енергія, яка передається від ножа на стебло рослини, відповідно:

$$\begin{aligned} E' &= m_H \omega^2 (R + L_c) \int_0^\alpha \left(\frac{f d_{III}}{2} \cos \alpha + L_c \sin \alpha \right) d\alpha = \\ &= m_H \omega^2 (R + L_c) \left[\frac{f d_{III}}{2} \sin \alpha - L_c \cos \alpha \Big|_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha} \right] = \\ &= m_H \omega^2 (R + L_c) \left[\frac{f d_{III}}{2} \sin \alpha + L_c (1 - \cos \alpha) \right] = \\ &= m_H \omega^2 (R + L_c) \left[\frac{f d_{III}}{2} \sin \alpha - L_c \cos \alpha + L_c \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень одержано аналітичні залежності (формули 10 і 14) для визначення сумарної енергії, яка передається від ножа на рослинні рештки при роботі різального апарата — подрібнювача рослинних решток з вертикальною віссю обертання і шарнірним закріпленням ножів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Говоров О., Гуков Я., Мойсеєнко В.* Машины для подрібнення решток // *Farmer*. — 2010. — № 6. — С. 84–87.
2. *Новиков Ю.Ф.* Теория и расчет ротационного режущего аппарата с рубящими рабочими органами // *Сельхозмашина*. — 1957. — № 8. — С. 1–5.
3. *Тудель Н.В., Кузьмич Я.А.* Определение энергии резания при малых ее значениях и больших скоростях // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. — 1976. — № 1. — С. 42.
4. *Карпенко М.И.* Обґрунтування подачі, довжини і точки підвісу ножів ротацийного скошуючого апарата // *Вісник сільськогосподарської науки*. — 1981. — № 1. — С. 47–49.
5. *Гернет М.М.* Курс теоретической механики. — М.: Высшая школа, 1973. — 462 с.
6. *Барабашкин В.П.* Молотковые и роторные дробилки. — М.: Госгортехиздат, 1963. — 132 с.

**ЭНЕРГОЕМКОСТЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
НОЖА РЕЖУЩЕГО АППАРАТА — ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ
С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ**

Приведены разработанные теоретические зависимости для определения энергоемкости ножа режущего аппарата — измельчителя растительных остатков с вертикальной осью вращения и шарнирным закреплением ножей, в зависимости от угла его отклонения относительно радиального положения.

**POWER CONSUMPTION
OF WORK PROCESS OF SICKLE KNIFE
IN CROP RESIDUES CHOPPER
WITH VERTICAL ROTATION AXIS**

Given are developed theoretical equations for calculating the power consumption of a sickle knife in a crop residues chopper with vertical rotation axis and flail knives depending on its deflection angle with respect to its radial position.