

ДО ПИТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ПОДРІБНЮВАЧА СОКОВИТИХ І БАШТАННИХ КОРМІВ

Краснолуцький Петро Петрович, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів
Пасічник Адам Юрійович, здобувач вищої освіти, інженерно-технічний
факультет
Подільський державний університет
Україна

Одним із факторів, що стримують розвиток тваринництва у фермерських господарствах, є проблематичність їх забезпечення ефективними та доступними кормоприготувальними машинами. Зокрема, актуальною є створення універсальних подрібнювачів, здатних подрібнювати різні види корму, у тому числі коренеплоди та баштанні культури, які завдяки своїй кормовій цінності та агротехнічним особливостям можуть становити основу кормової бази скотарства [1]. У зв'язку із цим у Подільському державному університеті проводиться розробка подрібнювача стрічково-дискового типу, який, на нашу думку, поєднує переваги відомих конструкцій слайсерів та ножових барабанів.

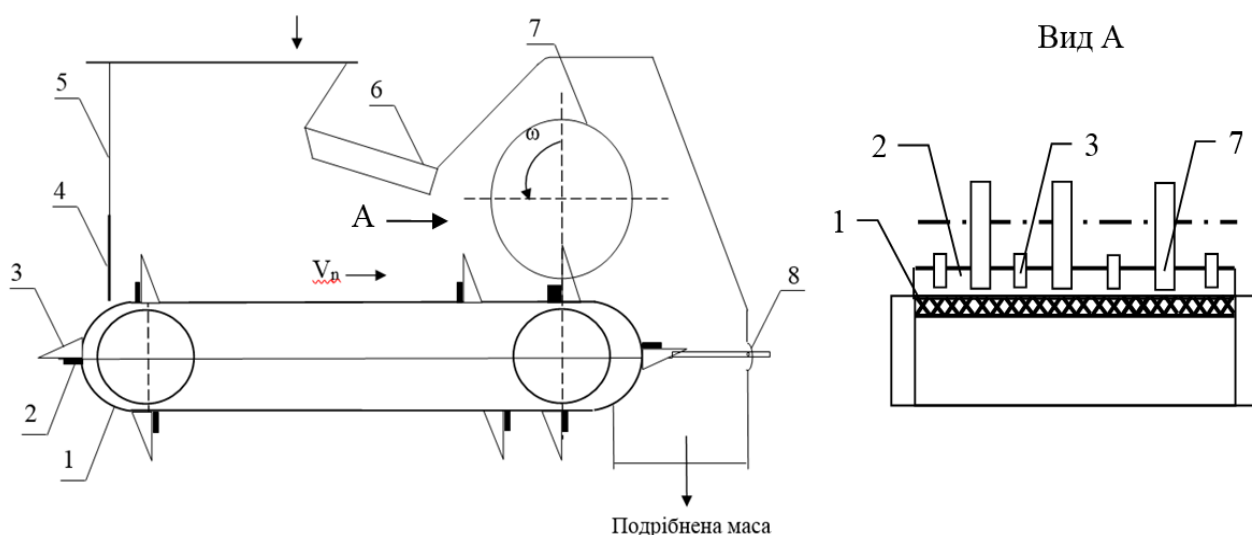


Рис. 1 Схема принципова подрібнювача

1 – транспортер стрічковий; 2 – скребок; 3 – ніж транспортера; 4 – дека; 5 – горловина завантажувальна; 6 – ніж пластинчастий; 7 – диск подрібнювальний; 8 – гребінка.

Корми завантажуються через горловину 5 на стрічковий транспортер 1. До стрічки транспортера приклепані скребки 2 з пазами, в яких закріплені трикутні ножі 3. Корми подаються до зони дисків 7 і спочатку перерізуються ножом 3 та пластинчастим нерухомим ножом 6 – це перша ступінь попереднього подрібнення. Диски та ножі 3 утворюють другу ступінь подрібнення. Тут довжина різки залежить від монтажного зазору між дисками та ножами, а від також співвідношення колової швидкості точки леза диска V_0 і поступальної швидкості ножа 3 V_n (тобто показника λ кінематичного режиму). Залежно від властивостей корму диски можуть бути зафіксовані ($\lambda = 0$), обертатись вільно ($\lambda = 0...1$), або примусово ($\lambda \geq 1$). У зоні контакту ножів з дисками довжина різки повинна складати 30...40 мм. При необхідності частинки можна додатково подрібнити до розмірів 10 мм на третьому ступені подрібнення між ножами транспортера 3 і нерухомою протиріжучою гребінкою 8.

Проведені аналітичні дослідження та попередні експерименти дозволили визначити основні технологічні параметри подрібнювача, зокрема, геометрію ріжучих елементів, розміри транспортера, можливу продуктивність на різних режимах роботи. Зокрема, для забезпечення продуктивності 5 т/год при подрібненні коренеплодів при стандартній ширині стрічки транспортера 0,5 м його швидкість має бути 0,4 м/с, а для заданого ступеню подрібнення слід встановити 5 дисків, та пластинчаті ножі з кроком 0,145 м [2]. Для подальшої розробки повномасштабного експериментального зразка подрібнювача необхідно провести енергетичні розрахунки подрібнювального апарату.

Взаємодія ножа транспортера та інших ріжучих елементів на всіх ступенях подрібнення являє собою типове двохопорне різання.

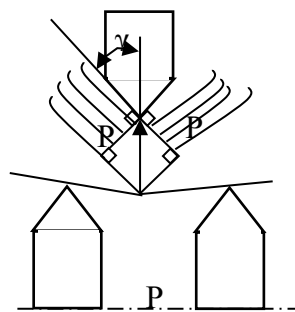


Рис. 2. Схема процесу різання.

При такому різанні матеріал руйнується в основному під дією тиску безпосередньо верхівкою двогранного кута, тобто лезом. По лінії контакту леза з шаром матеріалу виникає висока нормальна руйнівна напруга. Умовно виділяють два етапи різання: попереднього ущільнення та власне різання матеріалу. Різання лезом може розпочатись тільки після того, як матеріал буде ущільнений ножом до деякої межі. Силу, яку необхідно прикласти при цьому до ножа, називають критичною силою різання. За думкою професора Н.Е. Резніка критичну силу можна визначити за формулою [3]:

$$P_{кр} = P_p + 2 * T, \quad (1)$$

де P_p – опір різанню, Н;

T – сила тертя, що зумовлена дією бічного тиску R_b при переміщенні клину в матеріалі, Н.

Величину P_p визначаємо за формулою [4]:

$$P_p = S_l * l_{різ} * \varepsilon_p, \quad (2)$$

S_l - товщина леза; в даному випадку $S_l = 10^{-4}$ м;

$l_{різ}$ - ефективна довжина леза, тобто довжина різання, м;

ε_p - руйнівна контактна напруга, Па.

Величина ε_p залежить від фізико – механічних властивостей (перш за все вологості) рослинних матеріалів у межах $\varepsilon_p = 5...28$ мПа [5]. Приймаємо для розрахунків $\varepsilon_p = 20$ мПа.

Величину сили тертя T визначаємо з урахуванням кута загострення γ

$$T = f \cdot P_p \cdot \cos(90 - \gamma) \quad (3)$$

де f – коефіцієнт тертя рослинної маси по сталі; приймаємо максимальне значення $f = 0,9$ [3] .

На першому ступені подрібнення при довжині різання пластинчастим ножом $l_{різ} = l_n = 0,55$ м та довжині різання ножом транспортера $l_{різ.м} = 0,125$ м значення P_p , T та $P_{кр}$ відповідно складають:

- для пластинчастих ножів:

$$P'_{pn} = 10^{-4} \cdot 0,55 \cdot 20 = 1,1 \cdot 10^3 H;$$

$$T'_n = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot \cos(90^0 - 25^0) = 0,42 \cdot 10^3 H;$$

$$P'_{kpn} = 1,1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 0,42 \cdot 10^3 = 1,94 \cdot 10^3 H;$$

- для ножів транспортеру:

$$P'_{pt} = 10^{-4} \cdot 0,55 \cdot 20 = 1,1 \cdot 10^3 H;$$

$$T'_m = 0,9 \cdot 0,42 \cdot 0,25 \cdot 10^3 = 0,09 \cdot 10^3 H;$$

$$P'_{kpt} = 0,25 \cdot 10^3 + 0,18 \cdot 10^3 = 0,43 \cdot 10^3 H$$

По одержаним значенням розраховуємо витрати потужності та різання:

$$N_p^i = P_{kp}^i \cdot V_p^i \cdot Z_i \quad (4)$$

де V_p^i - швидкість різання, $V_p^i = 0,4$ м/с;

Z_i – кількість ріжучих елементів i -го виду.

Потужність на різання пластинчастими ножами:

$$N'_{pn} = 1,94 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 5 = 3,88 \cdot 10^3 Bm = 3,99 кВт;$$

- ножами транспортеру:

$$N'_{pt} = 0,43 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 6 = 1,03 кВт.$$

Розглянемо процес подрібнення матеріалу другого ступеня подрібнення, де працює ріжуча пара „ніж – диск”. Як і в попередньому випадку, при зафіксованих дисках, а також у випадку їх вільного обертання процес подрібнення подібне до двохопального різання. Тому потужність, що витрачається на другому ступені подрібнення:

$$N''_p = N''_{pt} + N''_{pД} \quad (5)$$

N''_{pt} - потужність на різання ножами транспортеру; $N''_{pt} = 1,03$ кВт;

$N''_{pД}$ - потужність на різання дисками; визначається за аналогічною

методикою.

Для розрахунку величини N''_{pD} знайдемо довжину дуги різання з елементарних геометричних побудовань

$$\Delta L_p = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \varphi_p, \text{ м} \quad (6)$$

де φ_p - центральний кут між точками початку та кінця зони різання (кут контакту диска з матеріалом.).

Якщо диск нерухомий, то

$$\varphi_p = \arccos \frac{S_1}{R} = \arccos \frac{0,04}{0,15} = 74,5^\circ \approx 75^\circ \quad (7)$$

$$\text{Тоді } \Delta L_p = \frac{3,14 \cdot 0,15}{180} \cdot 75 = 0,196 \text{ м}$$

$$\left. \begin{aligned} P''_{pD} &= S_{\Delta D} \cdot l_p \cdot \varepsilon_p = 10^{-4} \cdot 0,196 \cdot 20 \cdot 10^6 = 0,39 \cdot 10^3 \text{ Н}; \\ T''_D &= f \cdot P''_{pD} \cdot \cos(90 - \gamma) = 0,9 \cdot 0,39 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 0,15 \cdot 10^3 \text{ Н}; \\ P''_{kpD} &= P''_{pD} + 2T''_D = 0,39 \cdot 10^3 + 2 \cdot 0,15 \cdot 10^3 = 0,69 \cdot 10^3 \text{ Н}; \\ N''_{pD} &= P''_{kpD} \cdot V''_p \cdot Z_\Delta = 0,69 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 0,4 = 1,38 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 1,38 \text{ кВт} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Якщо диски обертаються, характер різання дещо змінюється, оскільки змінюється динаміка кута різання τ і довжина різання ΔL_p . Кут контакту φ_p

$$\varphi_p = w \cdot t \quad (9)$$

де t – тривалість контакту диска з порцією матеріалу, що знаходиться на довжині стрічки L_n між двома суміжними скребками:

$$t = \frac{L_n}{V_n} = \frac{0,145}{0,4} = 0,36 \text{ с} \quad (10)$$

Частоту обертання W визначаємо по показнику кінематичного режиму λ :

$$\lambda = \frac{V_0}{V_n} = \frac{\omega R}{V_n} \quad (11)$$

де V_0 – колова швидкість точки леза диска, м/с.

При подрібненні кормів підвищеної вологості $\lambda = 1 \dots 2$. Тоді

$$\omega = \frac{2V_n}{R} = \frac{2 \cdot 0,4}{0,15} = 5,33 \text{ c}^{-1}$$

$$\varphi_p = \omega t = 5,33 \cdot 0,36 = 1,92 \text{ рад} = 110^0;$$

$$\Delta L_p = \frac{\pi R}{180} \varphi_p = \frac{3,14 \cdot 0,15}{180} \cdot 110 = 0,288 \text{ м};$$

$$P_p'' = S_{\Lambda} \Delta L_p \varepsilon = 10^{-4} \cdot 0,288 \cdot 20 \cdot 10^6 = 0,576 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$T'' = f \cdot P_p \cos(90 - \gamma) = 0,9 \cdot 5,76 \cdot 10^3 \cdot \cos 65^0 = 0,219 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$P_{kp}'' = P_p'' + 2T'' = 5,76 \cdot 10^3 + 2 \cdot 2,19 \cdot 10^3 = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Слід відзначити, що при обертанні дисків з показником $\lambda > 1$ кут різання та швидкість різання V_p у початковій та кінцевій ділянці контакту диску з матеріалом неоднакові.

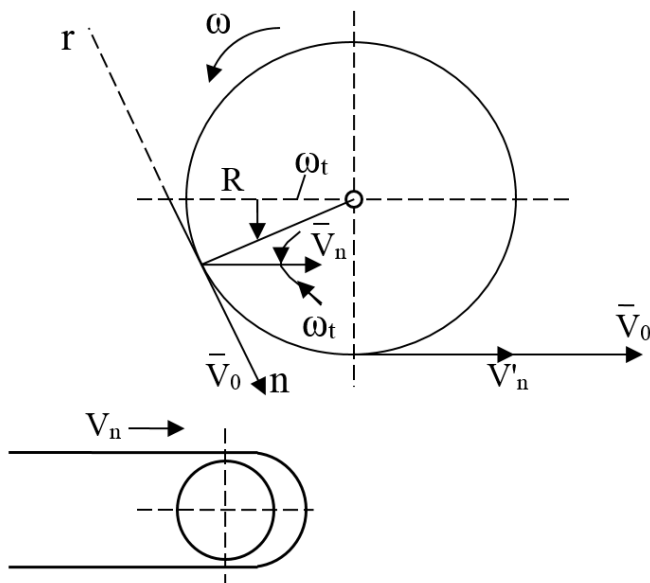


Рис. 3. До визначення швидкості різання

Очевидно, що без урахування деякого відхилення на вектору швидкості різання V_p від дотичної до диску внаслідок ковзання матеріалу по поверхні:

$$V_p = V_0 - V'_n, \text{ м/с}, \quad (12)$$

де V'_n - проекція вектора швидкості подачі на дотичну до траєкторії обертання;

$$V'_n = V_n \cdot \sin \omega t. \quad (13)$$

Як видно з формули (13), швидкість різання під час обертання дисків на кут ωt змінюється від максимального значення $V_p^{\max} = V_0$ (вектор V_p направлений вертикально вниз) до мінімального $V_p^{\min} = V_0 - V_n$ (V_p направлений горизонтально).

Для подальших розрахунків приймаємо найбільше значення $V_p^{\max} = V_0$.

Тоді потужність на привод дисків:

$$N''_{p\partial} = P''_{kp} \cdot V''_p \cdot Z_{\partial} = 1,01 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 5 = 4,04 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 4,04 \text{ кВт} \quad (14)$$

Потужність при подрібненні матеріалу на гребінці співпадає з витратами потужності при різанні ножами транспортеру, оскільки характер процесів у обох випадках ідентичний – класичне двох опірне різання тому

$$N''_t = N'_{pt} = 1,03 \text{ кВт}. \quad (15)$$

Потужність холостого ходу транспортера визначаємо за формулою [5]:

$$N_x = \frac{k \cdot \psi \cdot L \cdot \sigma + 37 \psi Q L \pm Q H}{1000}, \text{ кВт}, \quad (16)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від ширини стрічки, при $B_c = 500 \text{ мм}$ $k=4300$;

ψ – коефіцієнт опору роликів опор, $\psi=0,07$;

L – довжина транспортера, загальна довжина контуру у даному випадку $L = 2 L_t = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ м}$;

V – швидкість стрічки, $V=0,4 \text{ м/с}$;

Q – продуктивність транспортера; максимальне значення при подрібненні коренебульбоплодів $Q = 5,2 \text{ т/год}$;

H – різниця висот кінцевих частин транспортера, у даному випадку $H=0$.

$$N_x = \frac{4300 \cdot 0,07 \cdot 2,4 \cdot 0,4 + 3,7 \cdot 0,07 \cdot 5,2 \cdot 2,4}{1000} = 0,32 \text{ кВт}.$$

Загальна потужність на привод подрібнювача, кВт

$$N = \frac{\left(N'_{pn} + N'_{pt} + N''_{pt} + N''_{p\partial} + N'''_e + N_x \right)}{\eta} \cdot K_n \quad (17)$$

де K_p – коефіцієнт можливого перевантаження, $K_p=1,5$;

η – коефіцієнт корисної дії, $\eta=0,85$.

$$N = \frac{(3.9 + 1.03 + 1.03 + 4.04 + 1.03 + 0.32) \cdot 1.5}{0.85} = 20 \text{ кВт.}$$

Одержані результати дозволяють перейти до конкретної розробки варіанту електроприводу експериментального подрібнювача.

Список використаних джерел

1. Єрмакова Л.М., Івановська Р.Т., Шевніков М.Я. Кормовиробництво: Навчальний посібник. Київ. 2008. 396 с.
2. Краснолуцький П.П. Обґрунтування параметрів експериментального подрібнювача коренеплодів і стеблових кормів // The current state of development of world science: characteristics and features: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 1), June 4, 2021. Lisbon, Portuguese Republic: European Scientific Platform. P.85-89.
3. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Москва: «Машиностроение», 1975. 311 с.
4. А., Бойко І.Г., Нанка О.В., Полупанов В.М., Скорик О.П., Троянов М.М., Трішин О.К., Фісяченко О.І., Ужик В.Ф., Щербаков Є.М. Машини та обладнання для тваринництва / О. А. Науменко та ін.; за заг.ред. І.Г. Бойко. Харків: 2006. 225 с.
5. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти / Р. В. Складар та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.