






original article | UDC 631.171 | doi: 10.31210/visnyk2021.04.34


STUDY OF THE PROCESS OF CRUSHING STEM WEIGHT
*O. V. Saichuk*¹


 ORCID  [0000-0001-5118-838X](https://orcid.org/0000-0001-5118-838X)
*V. K. Avetisyan*¹

 ORCID  [0000-0002-7013-2880](https://orcid.org/0000-0002-7013-2880)
*N. M. Kolpachenko*¹

 ORCID  [0000-0001-8294-5785](https://orcid.org/0000-0001-8294-5785)
*V. L. Manilo*¹

 ORCID  [0000-0003-1279-0903](https://orcid.org/0000-0003-1279-0903)
O. I. Bilovod^{2*}

 ORCID  [0000-0003-3470-0091](https://orcid.org/0000-0003-3470-0091)
*V. V. Dudnyk*²

 ORCID  [0000-0002-6553-2951](https://orcid.org/0000-0002-6553-2951)
¹ Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, 44, Alchevskih str., Kharkiv, 61002, Ukraine

² Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorodi str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

 E-mail: oleksandra.bilovod@pdaa.edu.ua

How to Cite

 Saichuk, O. V., Avetisyan, V. K., Kolpachenko, N. M., Manilo, V. L., Bilovod, O. I., & Dudnyk, V. V. (2021). Study of the process of crushing stem weight. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 259–267. doi: 10.31210/visnyk2021.04.34

The article substantiates and reveals the solution of the problem of preserving the sharpness of the cutting edges of knives during the grinding of the stem mass of cereals. It was found that taking into account the ratio obtained in the work, it is possible to perform numerical calculations of the effect of compression layer thickness on the thickness of the cutting edge of the knife, if you set a certain value h and known properties of the material to be cut (τ , σ). An expression is obtained that allows to analyze the dependence of the blade sharpness, taking into account the design features of real knives (radius of curvature). These calculations depend on the height of the compression layer (for $h=\text{const}$) and the height of the source layer (for $h_{st}=\text{const}$), or on both parameters of the height of the layer with a known relationship between them. The study found that the formula derived by V. P. Goryachkin, for reasons of minimum energy consumption for cutting, although it does not take into account the geometry of the cutting edge, still allows you to determine the optimal angle of sharpening knife, if you set its thickness and width of the cutting edge. Graphs for calculations of the optimal thickness of the cutting edge under the condition of n -fold compression of the layer at the time of cutting are proposed. The dependences for calculating the influence of the thickness of the crushed stem mass on the thickness of the cutting edge of the knife, as well as a reasonable angle of sharpening of the knife, which provides a minimum cutting force. The proposed calculations and recommendations on the selected research topic should be used when using existing structures and designing new elements of combine harvesters for crushing the stem mass of cereals. The results of the study should be implemented in the educational process in the preparation of graduates of specialties 208 Agricultural Engineering and 133 Industrial Engineering.

Key words: cutting, stem mass, compression ratio, cutting edge thickness, sharpening angle.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЮВАННЯ СТЕБЛОВОЇ МАСИ
*O. V. Сайчук*¹, *В. К. Аветісян*¹, *Н. М. Колпаченко*¹, *В. Л. Маніло*¹, *О. І. Біловод*², *В. В. Дудник*²
¹ Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

У статті обґрунтовано та розкрито вирішення проблеми збереження гостроти ріжучих крайок ножів під час подрібнювання стеблової маси зернових культур. З'ясовано, що з урахуванням

отриманого в роботі співвідношення, можна провести чисельні розрахунки впливу товщини шару стиснення на товщину ріжучої крайки ножа, якщо задати певну величину h і відомі властивості матеріалу, який ріжуть (τ , σ). Отримано вираз, що дозволяє проаналізувати залежність гостроти леза, з урахуванням конструктивних особливостей реальних ножів (радіуса заокруглення). Дані розрахунки залежать, як від висоти шару стиснення (при $h = \text{const}$), так і від висоти вихідного шару (при $h_{\text{ст}} = \text{const}$), або від обох параметрів висоти шару при відомій залежності між ними. В дослідженні з'ясовано що, формула виведена В. П. Горячкіним, з міркувань мінімальних витрат енергії на різання, хоча й не враховує геометрію ріжучої крайки, все-таки дозволяє визначити оптимальний кут заточення ножа, якщо задати його товщину й ширину ріжучої крайки. Запропоновано графіки для розрахунків оптимальної товщини ріжучої крайки за умови n -кратного стиснення шару в момент розрізання. Отримані залежності для розрахунку впливу товщини подрібнюваної стеблової маси на товщину ріжучої крайки ножа, а також обґрунтований кут заточування ножа, який забезпечує мінімальне зусилля різання. Пропоновані розрахунки та рекомендації з обраної тематики дослідження доцільно застосовувати при використанні існуючих конструкцій та проектуванні нових елементів зернозбиральних комбайнів для подрібнення стеблової маси зернових культур. Результати проведеного дослідження доцільно впроваджувати в навчальний процес при підготовці здобувачів вищої освіти спеціальностей 208 Агроінженерія та 133 Галузеве машинобудування.

Ключові слова: різання, стеблова маса, коефіцієнт стиснення, товщина ріжучої крайки, кут заточення.

Вступ

Основною функцією багатьох робочих органів сільськогосподарських машин є подрібнювання різного біологічного матеріалу або ґрунту (розбивання, роздавлювання, розривання, зрізання тощо). При цьому якість подрібнювання залежить від стабільності форми, розмірів і стану робочої поверхні цієї деталі в процесі експлуатації. Не є тут виключенням і ножі подрібнювача–розкидувача соломи (ПРС) зернозбирального комбайна (ЗК). Причому, найпоширенішим, практично найбільш важливим та важко розв'язним є завдання збереження гостроти ріжучих крайок ножів [1–4], тому що затуплення лез і/або згладжування вістря, в остаточному підсумку, викликає підвищення енерговитрат на подрібнювання [5].

Дане явище пояснюється фізико–механічними властивостями та формою поперечного перерізу матеріалу, що подрібнюється [6–10]. Отже для забезпечення ефективності та зниження енерговитрат на різання необхідно пов'язувати, як конструктивні параметри подрібнювача [11–12] так і фізико–механічні та структурні властивості матеріалу сировини [13–14].

В дослідженні [1, 15] виявлені причини, зони та характер змін стану ножів у вузлі солеморізки при їх виготовленні та експлуатації, але не згадується вплив кута заточки леза, на якість різання.

Автор [16], пропонує збільшити робочий ресурс леза без перезаточування армуванням його сормайтом (наплавленням), що підвищить термін служби, але даний процес є економічно не вигідним.

Метою цієї роботи є обґрунтування та вирішення проблеми збереження гостроти ріжучих крайок ножів під час подрібнювання стеблової маси зернових сільськогосподарських культур.

Матеріали та методи досліджень

Аналіз публікацій процесу подрібнювання стеблової маси дає змогу визначити наступні напрямки дослідження:

- отримати залежності для розрахунку впливу товщини подрібнюваної стеблової маси на товщину ріжучої крайки ножа;

- обґрунтувати кут заточування ножа, який забезпечить мінімальне зусилля різання.

Методи досліджень спираються на методологічні основи розрахунків експериментальних даних, а також статистичну обробку отриманих даних за допомогою програмного забезпечення MS Excel.

Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з технічними вимогами, ресурс оригінальних ножів ПРС становить 60–80 га/ніж (фірми MWS), залежно від марки і завантаження ЗК, типу культури, що вбирається, вологості купи та ін.

Відомо, що подрібнювання стеблової маси в більшості випадків здійснюється різанням [6, 17–18]. Згідно з теорією В. П. Горячкина [19], повна робота $A_{\text{повн}}$, затрачувана на різання, є результатом витрат енергії на стиск продукту лезом ножа $A_{\text{ст}}$ і на корисну роботу $A_{\text{к}}$:

$$A_{\text{повн}} = A_{\text{ст}} + A_{\text{к}}, \quad (1)$$

де $A_{\text{ст}}$ – енергія, витрачена на стиск продукту лезом ножа, Дж;

$A_{\text{к}}$ – енергія, витрачена на корисну роботу, Дж.

Якщо прийняти лезо ножа прямокутної форми, то згідно з рис. 1 рівності, що становлять (1), при різанні шару матеріалу, можуть бути представлені в такий спосіб.

Робота на стиск визначається по формулі:

$$A_{\text{ст}} = l\delta\sigma h_{\text{ст}}, \quad (2)$$

де l – довжина шару матеріалу уздовж леза ножа, м;

δ – задана товщина ріжучої крайки ножа, м;

σ – допустиме напруження на стиск, Па;

$h_{\text{ст}}$ – висота шару стиснення, м.

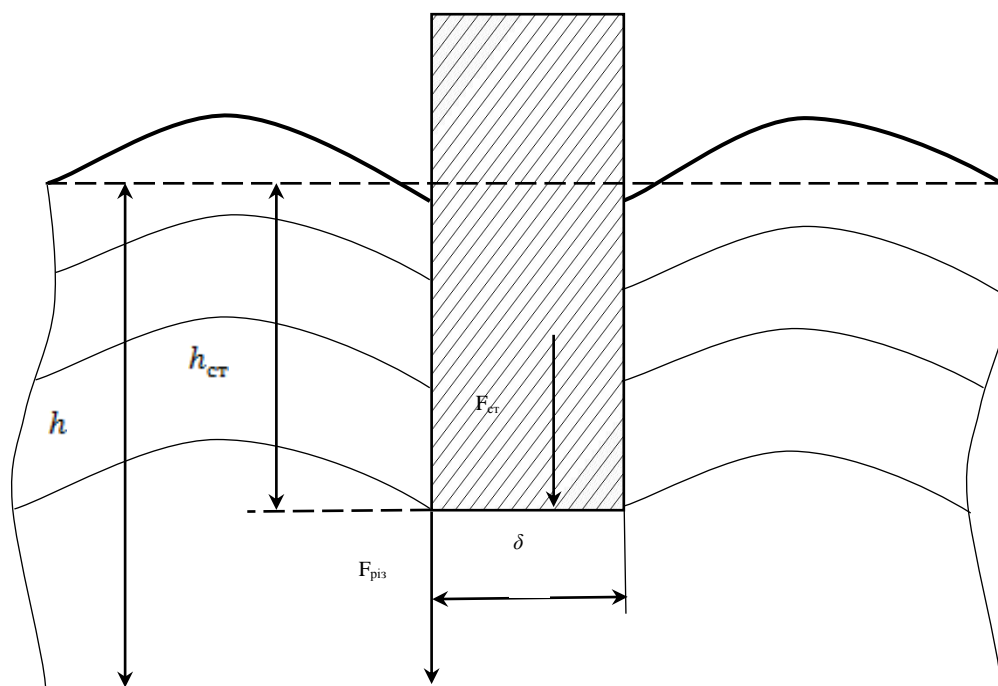


Рис. 1. Розрахункова схема процесу різання:

h – початкова висота шару, м; $h_{\text{ст}}$ – висота шару стиснення, м; δ – товщина леза ножа, м; l – довжина шару матеріалу уздовж леза ножа, м; $F_{\text{різ}}$ – нормально спрямована сила різання, Н

Корисна робота на різання може бути визначена:

$$\tau A_{\text{п}} = l(h - h_{\text{ст}})\tau(h - h_{\text{ст}}), \quad (3)$$

де τ – допустиме напруження на зріз, Па;

h – початкова висота шару, м.

Тоді повна робота, з урахуванням рівнянь (2), (3) буде рівна:

$$A_{\text{повн}} = l\delta\sigma h_{\text{ст}} + (h - h_{\text{ст}})^2\tau, \quad (4)$$

Будемо вважати, що оптимальні умови різання формуються при прагненні до мінімуму повної роботи, витраченої на різання. Тоді, беручи до уваги, що витрати енергії при різанні шару реального

матеріалу (що стискається) будуть залежати від ступеня стиснення матеріалу, яку будемо характеризувати висотою стисненого шару – $h_{ст}$, то теоретичний мінімум для $A_{повн}$ визначається за похідною цієї величини по $h_{ст}$, (5). За умови, що $h = const$, властивості матеріалу і параметри ножа при різанні також не змінюються, і після відомих перетворень одержимо:

$$\frac{\partial A_{повн}}{\partial h_{ст}}, \quad (5)$$

$$l\delta\sigma - 2l(h - h_{ст})\tau = 0. \quad (6)$$

Перетворюючи далі вираження (6), одержуємо умову вибору оптимальної товщини леза ножа [20].

$$\delta = 2(h - h_{ст})\frac{\tau}{\sigma}, \quad (7)$$

Остаточно, з урахуванням отриманого співвідношення (7), можна провести чисельні розрахунки впливу товщини шару стиснення на товщину ріжучої крайки ножа, якщо задати певну величину h і відомі властивості матеріалу, який ріжуть (τ , σ).

Приймаючи в якості матеріалу, який ріжуть, солому ярової пшениці та враховуючи її властивості ($\tau=26$ МПа; $\sigma=290$ МПа), після підстановки в (7) і перетворення одержимо:

$$\begin{aligned} \delta &= \left(2h - \frac{2h \cdot h_{ст}}{h}\right) \frac{\tau}{\sigma}, \\ \delta &= \frac{2h\tau}{\sigma} - \frac{2h\tau h_{ст}}{\sigma h}, \\ \delta &= \frac{2\tau}{\sigma} + \frac{2h\tau}{\sigma}, \\ \delta &= -0,17h_{ст} + 0,17h. \end{aligned} \quad (8)$$

Отримане вираження дозволяє проаналізувати залежність гостроти леза (радіуса заокруглення) як від висоти шару стиснення (при $h = const$), так і від висоти вихідного шару (при $h_{ст} = const$), або від обох параметрів висоти шару при відомій залежності між ними.

Виходячи з конструктивних особливостей ПРС, параметрів ножа, а також розмірів одиничного елементу шару незернової частини купи (одичне стебло рослини) можна задати граничні обґрунтовані значення висоти вихідного шару: $h=2$; 25; 100 мм. Тут, значенню $h=2$ мм відповідає середній діаметр (товщина) одиничного стебла рослини (солома ярової пшениці), значенню $h=100$ мм – максимальна висота шару незернової частини купи, що надходить із верхнього щитка ПРС (при його роботі в режимі подрібнювання) без перевантаження ротора, а значення $h=25$ мм прийняте для роботи ПРС із четвертним завантаженням від максимального.

З технологічних міркувань і існуючої конструкції ножа ПРС комбайнів найбільш просто забезпечувати товщину їх леза 100 мкм і більше.

Використання формули (8), отриманої виходячи із закону збереження енергії і за умови мінімальної роботи, затрачуваної на розрізування шару, дає адекватні результати тільки для тонких шарів матеріалу (2 мм і менше), які в реальних ПРС не реалізуються. Очевидно, це зв'язано зі складною будовою реального шару незернової частини купи, що надходить на подрібнювання, одиничний розрізаємий об'єм якого одночасно складається з безлічі одиничних стебел, з різною просторовою орієнтацією, складним характером їх упакування і різною формою порожнеч, заповнених повітрям.

Одним з найбільш важливих факторів, що обумовлюють відносно збільшення роботи попереднього стиснення зі зростанням товщини шару рослинної маси, є збільшення роботи, що витрачається на подолання в шарі внутрішнього тертя. Це добре видно при розгляді схеми процесу ущільнення шару маси з товстостеблової культури (рис. 2).

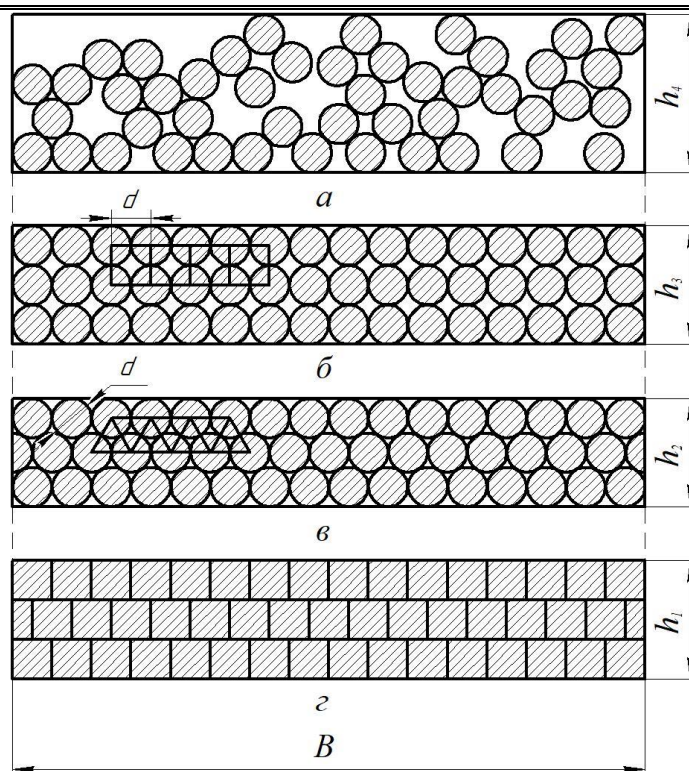


Рис. 2. Схема процесу ущільнення шару рослинної маси, що складається з товстостеблових культур

Розгляд почнемо в напрямку короткої сторони камери h . У перший момент ущільнення перетину стебел діаметром d розташовані в шарі, обмеженому камерою зі сторонами B та h_4 , нерівномірно (рис. 2 а). У загальному випадку щільність шару ρ може р характеризуватися відношенням сумарної площі перетину тканини стебел $F_{ст}$ до площі камери $F_k = Bh$.

За своїм значенням ρ може бути прийнятий за коефіцієнт ущільнення шару.

Процес ущільнення шару і зміна коефіцієнта його ущільнення можна схематично розділити на чотири характерні фази. У фазі а, коли в перетині шару є значна незаповнена площа, коефіцієнт ущільнення для стебел з однаковим діаметром d можна легко визначити з геометричних співвідношень.

При розташуванні центрів перетинів стебел у вершинах кутів квадратів (фаза б) коефіцієнт ущільнення ρ дорівнює відношенню площі перетину стебла $\frac{\pi d^2}{4}$ до площі квадрата зі стороною, рівною діаметру стебла, тобто

$$\rho_1 = \frac{\pi d^2}{4}; d^2 = \frac{\pi}{4} = 0,785. \quad (9)$$

Коли центри перетинів стебел розташовані у вершинах кутів рівносторонніх трикутників (фаза б), коефіцієнт ущільнення ρ виразиться як відношення площі перетину стебла, укладеної в трикутнику, до площі трикутника зі стороною рівною діаметру стебла, тобто

$$\rho_2 = \frac{\pi d^2}{8} \approx 0,91. \quad (10)$$

У фазі б утворення ущільненого шару переважає ущільнення з коефіцієнтом ρ_1 і, у меншій мірі, з коефіцієнтом ρ_2 . Тому що в цій стадії все-таки є незаповнені простори, загальний коефіцієнт ущільнення складе $\rho=0,6\div 0,7$.

Фаза в ущільнення шару характеризується переважним розміщенням стебел з коефіцієнтом ущільнення $\rho_2=0,91$, тому загальний коефіцієнт ущільнення шару вже складе $\rho=0,7\div 0,8$.

У всіх трьох розглянутих фазах шар маси ущільнюється головним чином за рахунок заповнення порожнеч у його перетині, тобто за рахунок переміщення стебел і деякої їхньої деформації. У фазі z ущільнення шару відбувається, головним чином, за рахунок деформації стебел; коефіцієнт ущільнення при цьому досягає $\rho=0,9\div 0,95$.

При розглянутій зміні коефіцієнта ущільнення міняється тільки товщина шару h , ширина його B залишається постійною. Товщина шару пов'язана з коефіцієнтом ущільнення залежністю

$$h = k \frac{F_{ст}}{B\rho}, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від деформації стебел при ущільненні.

Різання, вочевидь, починається при високих значеннях коефіцієнта ρ , досягнення яких, як виявляється з розгляду схеми ущільнення, зв'язане зі значними взаємними переміщеннями елементів маси і таким їхнім розташуванням відносно один одного, при якому площа незаповнених проміжків у перетині камери буде найменшою. Взаємні переміщення елементів маси супроводжуються їхнім взаємним тертям і деформацією, які споживають значну частину енергії попереднього стиснення і зростають зі збільшенням шляху стиснення. У цьому полягає першочергова причина збільшення роботи $A_{ст}$ з ростом h шару.

Розрізання такого шару, мабуть, буде відбуватися тільки при його кратному стисненні ($k_{ст}=2, 3, 4$ або навіть більше), коли всі дефекти впакування шару будуть обрані і окремі стебла в елементарному розрізаємому об'ємі, спресуються. Крім того, зроблені при виведенні формули допущення не враховують: щільність матеріалу, що розрізається, коефіцієнт його тертя по поверхні ножа, зношування (затуплення) ріжучої крайки з ростом наробітку, геометрію леза (кут заточення) тощо.

Проте за допомогою формули (8), що представляє інженерний інтерес, можна одержати інформацію, наприклад, про геометрію леза, обґрунтовуючи його форму і проводячи прості геометричні побудови, з урахуванням конструктивних особливостей реальних ножів.

Для цього розглянемо нормовані геометричні параметри ножа ПРС, деталь 60–0170–19–01–2, виробництва фірми «MWS» (Німеччина).

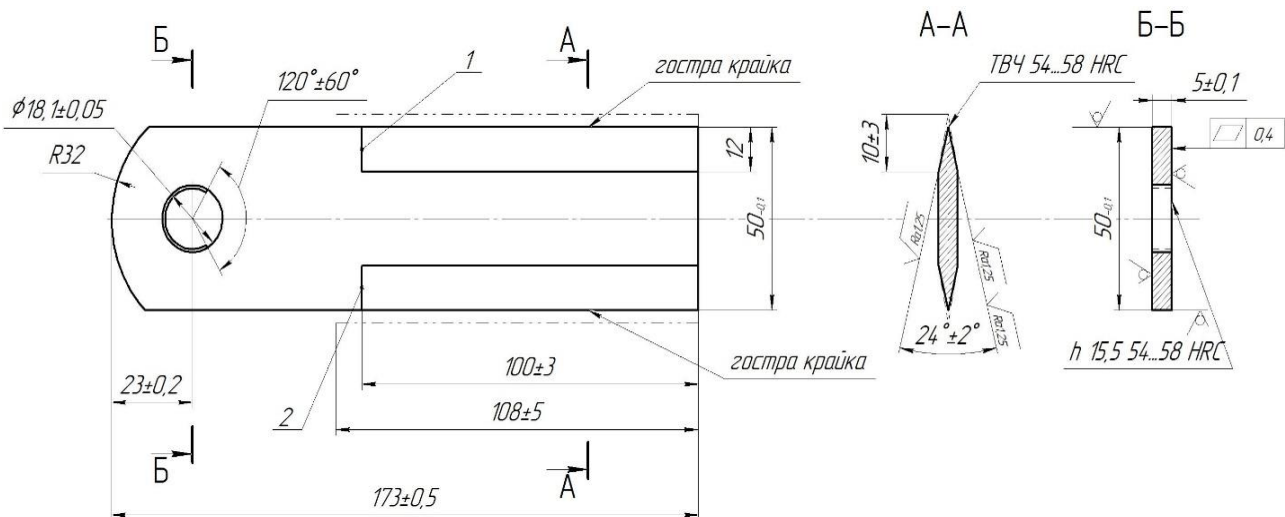


Рис. 3. Креслення ножа ПРС, деталь 60–0170–19–01–2, виробництва фірми «MWS» (Німеччина)

Для обґрунтування кута заточення (β) з урахуванням визначеної раніше величини товщини леза ножа ($\delta=100$ мкм), яка задається технологічно і обґрунтовується формулою (8), що забезпечує мінімальні зусилля різання, проведемо прості геометричні побудови та скористаємося подобою прямокутних трикутників $\triangle OAB$ і $\triangle OA_1B_1$ (рис. 4).

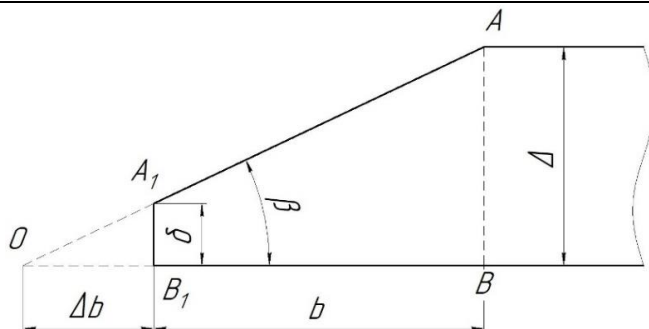


Рис. 4. Схема до визначення кута заточення леза ножа

Виходячи із креслення ножа ПРС, наведеного на рис. 3, припустимо $\Delta=5$ мм, $b=10$ мм, тоді кут заточення ножа (β) може бути знайдений, як гострий кут прямокутного трикутника ΔOAB по формулі:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\Delta}{b_{\text{повн}}} = \frac{\Delta}{b+\Delta b} = \frac{\Delta}{b+\frac{\delta}{\operatorname{tg}\beta}}. \quad (12)$$

Звичайно кут заточення становить величину від 15° до 30° , тому для розрахунків параметра Δb обчислимо для трикутника ΔOA_1B_1 довжину прилеглого катету з тангенса мінімального/максимального кута заточення по формулі (13):

$$\Delta b = \frac{\delta}{\operatorname{tg}\beta'} \quad (13)$$

$$\Delta b_{\min} = \frac{\delta}{\operatorname{tg}15^\circ} = \frac{0,0001}{0,2679} = 0,000373,$$

$$\Delta b_{\max} = \frac{\delta}{\operatorname{tg}30^\circ} = \frac{0,0001}{0,5773} = 0,000173,$$

Так як величини Δb_{\min} і Δb_{\max} мають однаковий порядок малості, округлимо їх до першої значущої цифри і візьмемо середнє (0,0003), тоді кут заточення складе:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{0,005}{0,0103}; \beta = 25,8^\circ \quad (14)$$

що перебуває в допустимих границях, нормованого значення цього параметра по кресленню (рис. 3).

Таким чином, формула виведена В. П. Горячкіним, з міркувань мінімальних витрат енергії на різання, хоча й не враховує геометрію ріжучої крайки, все-таки дозволяє визначити оптимальний кут заточення ножа, якщо задати його товщину й ширину ріжучої крайки.

Для адекватного ж опису процесу різання шару незернової частини купи по формулі (8), з урахуванням складної будови реальних шарів рослинних матеріалів, необхідно: або замінити висоту вихідного шару (h) у формулі на якесь ефективне значення ($h_{\text{еф}}$), що враховує його ущільнення (підтискання) до стану зближення і контакту окремих стебел перед розрізуванням; або скористатися введеним нами раніше $k_{\text{ст}}$ коефіцієнтом стиснення, попередньо визначивши його експериментальним шляхом; або розрахувати $h_{\text{еф}}$ за допомогою перерахування обчисленої товщини крайки леза для заданої вихідної товщини шару на значення товщини 100 мкм, обумовлене технологічно, і далі, остаточно перерахувати товщину шару, скориставшись вираженням (8), записаним для випадку 100 мм шару, що розрізеться ножом при його 1%-вому стисненні, як номограмою.

Тоді $h_{\text{ст}}$ буде пов'язане з h через коефіцієнт стиснення (2, 3, 4 і т.д.), що, після постановки у формулу (8), дозволить зв'язати оптимальну товщину ріжучої крайки з висотою вихідного шару простими, прямо пропорційними залежностями:

$$\begin{aligned}
 \delta &= 0,085h; \\
 \delta &= 0,114h; \\
 \delta &= 0,1275h; \\
 \delta &= 0,01h,
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

де коефіцієнти, наведені перед висотою вихідного шару, відповідають 2-, 3-, 4-кратному стисненню, а також наведене рівняння номограми, що відповідає шару з 1%-вим стисненням (остання формула).

Перерахування h в $h_{\text{еф}}$ і аналіз отриманих залежностей зручно проводити графічно (рис. 5).

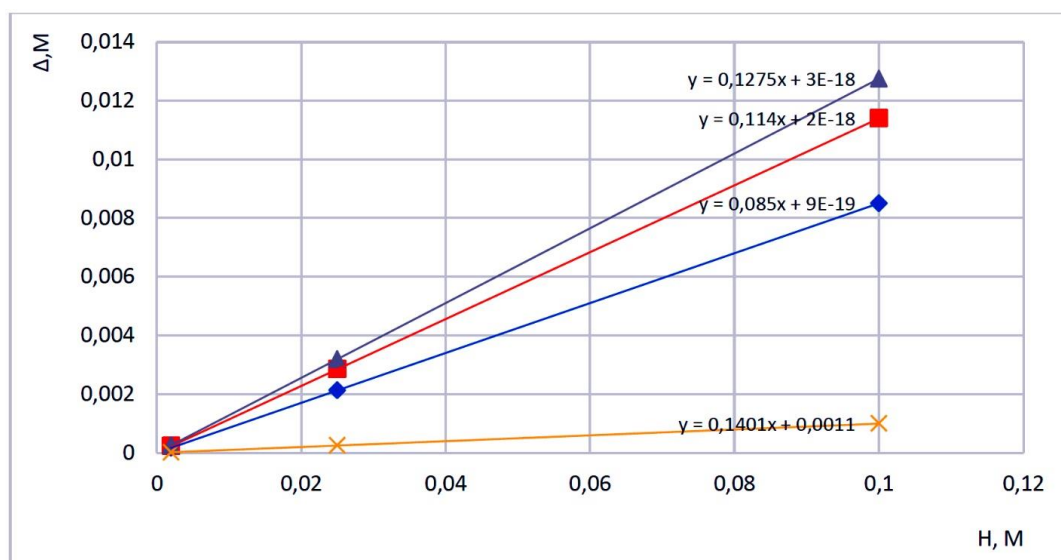


Рис. 5. Графіки для розрахунків оптимальної товщини різучої крайки за умови n -кратного стиснення шару в момент розрізання

Проте отримані значення товщини крайки леза ножа δ однаково будуть сильно відрізнятися від практично спостережуваних, тому що реальне лезо постійно зношується, а зазначений параметр змінюється (збільшується).

Висновки

- Отримано залежності для розрахунку впливу товщини подрібнюваної стеблової маси на товщину різучої крайки ножа.
 - Обґрунтовано кут заточування ножа, який забезпечує мінімальне зусилля різання матеріалу.
- Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть направлені на виявлення ефективних та доцільних параметрів дослідження процесу подрібнювання стеблової маси.

References

- Skoblo, T., Sidashenko, A., & Sajchuk, A. (2019) Analiz kachestva i harakter iznosa nozhej dlya izmelcheniya solomy. *Materiali 1-oyi Mizhnarodnoyi naukovopraktichna konferenciyi «Pidvishennya nadijnosti mashin i obladnannya. Increase of Machine and Equipment Reliability»*, (17–19 aprelja 2019 g). [In Russian]
- Yagelskij, M., & Rodimcev, S. (2013). Ocenka kachestva raboty solomoizmelchitelya zernouborochnogo kombajna. *Traktory i Selhozmashiny*, 6, 47–49. [In Russian]
- Gulevskiy, V., & Vertiy, A. (2018). Matematicheskoye modelirovaniye raboty izmel'chitelya kormov. *Vestnik 138 Voronezhskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 3 (58), 120–128. [In Russian]
- Demchenko, V., & Vertiy, A. (2011). Povysheniye effektivnosti protsessa izmel'cheniya grubyykh i stebel'chatyykh kormov. *Naukovyy Visnyk Tavriys'koho Derzhavnogo Ahrotekhnolohichnoho Universytetu*, 1 (3), 74–79. [In Russian]
- Bremer, G. (1963). *Osnovy teorii rezaniya lezviyem i raschet rezhushchikh mashin zhivotnovodcheskikh ferm*. Moskva: VSKHIZ. [In Russian]
- Volvak, S., Baharev, D., Vertij, A. & Korchagina, E. (2017) Teoreticheskoe obosnovanie zatrat moshnosti na izmelchenie stebelchatyykh kormov izmelchitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami. *Innovacii v APK: Problemy i Perspektivy*, 1 (13), 23–33. [In Russian]

7. Volvak, S., Baharev, D., & Vertij, A. (2017). Teoreticheskoe obosnovanie zatrat moshnosti izmelchitelem stebelchatykh kormov s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami. *Problemy i resheniya sovremennoj agrarnoj ekonomiki: materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchno-proizvodstvennoj konferencii (Majskij, 23–24 maya 201 g.)*. 2, T. 1, 32–33 [In Russian]
8. Vendin, S., Samsonov, V., Saenko, Yu., & Semernina, M. (2018). K raschëtu konstruktivnykh parametrov nozhej dlya izmelcheniya proroshennogo zerna. *Innovacii v APK*. 1, 16–31 [In Russian]
9. Krakhmalev, P., Rodil, T., & Bergström, J. (2007). Influence of microstructure on the abrasive edgewear of WC–Co hardmetals. *Wear*, 263, 240–245. doi: 10.1016/j.wear.2006.10.019
10. Morrell, R., & Gant, A. (2001). Edge chipping of hard materials. *Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 19, 293–301. doi: 10.1016/S0263-4368(01)00030-0
11. Braginets, N., & Vertiy, A. (2013). Izucheniye konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov rabocheho organa dlya izmel'cheniya grubykh i stebel'chatykh kormov. *Visnyk Kharkivs'koho Natsional'noho Tekhnichnoho Universytetu Sil's'koho Hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 132, 223–227. [In Russian]
12. Braginets, N., & Vertiy, A. (2013). Povysheniye effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa izmel'cheniya grubykh i stebel'chatykh kormov. *Naukovi Pratsi Pivdennoho Filialu Natsional'noho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannya Ukrayiny Kryms'ky Ahrotekhnolohichnyy Universytet. Seriya «Tekhnichni Nauky»*, 153, 96–99. [In Russian]
13. Vol'vak, S., Bakharev, D., & Vertiy, A. (2016). Teoreticheskiye issledovaniya izmel'chatelya stebel'chatykh kormov s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami. *Innovatsii v APK: Problemy i Perspektivy*, 3 (11), 24–34. [In Russian]
14. Vol'vak, S., Bakharev, D., Vertiy, A., & Korchagina, Ye. (2017). Teoreticheskoye obosnovaniye zatrat moshchnosti na izmel'cheniye stebel'chatykh kormov izmel'chitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami. *Innovatsii v APK: Problemy i Perspektivy*, 3 (13), 23–32. [In Russian]
15. Budashov, I. (2013). Obosnovaniye parametrov rotatsionno-diskovogo rezhushchego apparata dlya rezaniya tolstostebel'nykh kul'tur. *Extended abstract of candidate's thesis*. Barnaul [In Russian]
16. Shapovalov, V., & Nezhinskij, Ya. Issledovaniya uprochneniya samozatachivaniya nozhej izmelchatelya stebelchatykh produktov. *Vestnik Vostochnoukrainskogo Nacionalnogo Universiteta im. V. Dalya*. 12 (1), 25–36. [In Russian]
17. Reznik, N. (1975). *Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov*. Moskva: Mashinostroyeniye [In Russian]
18. Vertiy, A. (2018). Rezul'taty eksperimental'no-teoreticheskikh issledovaniy proizvoditel'nosti izmel'chatelya stebel'chatykh kormov s sharnirno-podveshennymi kombinirovannymi nozhami. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy agroinzhenenrii v XXI veke», posvyashchennoy 30-letiyu kafedry tekhnicheskoy mekhaniki konstruirovaniya mashin* [In Russian]
19. Goryachkin, V. (1968). Teoriya solomorezki i silosorezki. *Polnoe sobranie sochinenij*, 3, 68–113. [In Russian]
20. Sherbina, V., & Poluyan, V. (2012). Povyshenie iznosostojkosti nozhej barabannykh izmelchitelej kormouborochnykh kombajnov. *Vestnik Agrarnoj Nauki Dona*, 1, 35–39. [In Russian]

Стаття надійшла до редакції: 17.10.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Сайчук О. В., Аветісян В. К., Колпаченко Н. М., Маніло В. Л., Біловод О. І., Дудник В. В. Дослідження процесу подрібнювання стеблової маси. *Вісник ПДАА*. 2021. № 4. С. 259–267.

© Сайчук Олександр Васильович, Аветісян Віктор Казарович, Колпаченко Надія Миколаївна, Маніло Вадим Леонідович, Біловод Олександра Іванівна, Дудник Володимир Васильович, 2021