

УДК 633.522

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.61-69>

**В.О. Шейченко**, проф., д-р техн. наук, **І.А. Дудніков**, доц., канд. техн. наук  
*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна*  
*e-mail: vsheychenko@ukr.net*

**В. Шевчук**, доцент, канд. техн. наук  
*Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна*  
*e-mail: shevchuk\_m2011@ukr.net*

**В.Г. Шевчук**, викладач-методист, вища категорія  
*Уманський фаховий коледж технологій та бізнесу Уманського національного університету садівництва, м. Умань, Україна*

## Дослідження умов різання стебел із ковзанням

В статті досліджено підвищення ефективності функціонування ріжучих апаратів сільськогосподарських машин завдяки удосконаленню режимів різання стебел із ковзанням. Завдяки цьому уможливаються умови різання із меншими значеннями нормального тиску, ніж за умов різання без ковзання. За стандартних значень показників жнивarki з ріжучим апаратом та якісному різанні стебел рослин із ковзанням збільшення продуктивності складає до 17 %.

**різання із ковзанням, коефіцієнт ковзання, умови різання із ковзанням**

**Постановка проблеми.** Для збирання багатьох сільськогосподарських культур застосовуються машини, забезпечені різальними апаратами. Дослідженням роботи різальних апаратів збиральних машин, машин для приготування кормів, а також сегментних ріжучих апаратів зворотньо-поступального руху присвячено роботи багатьох вчених. Ними досліджено проблему механізації різання та подрібнення рослинних матеріалів [1-5]. Проте поза увагою залишилися фундаментальні питання пошуку шляхів удосконалення режимів різання стебел із ковзанням. Відмічені режими відбуваються за значно менших значень нормального тиску, ніж за умов різання без ковзання. Відповідно механізми, які реалізують принципи різання із ковзанням представляють значний науково-практичний інтерес. Цим питанням присвячено дану роботу.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В основному відомі дослідження присвячено аналізу побудованих графічно діаграм руху сегментів відносно стеблостою та процесу різання і розрахунку ріжучих апаратів. В загальному вигляді процес різання стебла ріжучим апаратом – це поперечний відгин стебла сегментом до моменту виникнення протидіючого підпору і наступного зрізування. Поперечний відгин досягає максимального значення в залежності від швидкості різання, фронтального переміщення ріжучого апарату і його конструкційних параметрів [6].

Для ріжучих апаратів жниварок важливою є товщина стебла по висоті зрізування, а кормові культури відповідно розділяють на товстостеблеві, тонкостеблеві і трав'янисті [5].

Ріжучий апарат включає робочі деталі: пальці з вкладишами і сегменти. По співвідношенню параметрів (ходу сегмента, віддалі між осями двох сусідніх сегментів) розділяють ріжучі апарати на нормального, середнього і низького різання та з подвійним перебігом сегментів [6].

У [7] наведено результати досліджень виявлення змін механічних властивостей стебла проса при динамічному різанні за різних швидкостях різання та нахилі леза. Відмічено, що енергія розрізу епідермальної тканини стебла була більшою, ніж у внутрішньої тканини. Експериментальними дослідженнями встановлено, що швидкість різання та кут нахилу леза мали значний вплив на механічні властивості різання. Проте поза увагою авторів залишилися питання теоретичного обґрунтування умов різання із ковзанням, співвідношення кута різання та кута тертя.

Авторами досліджень [8] встановлено закономірності змінення середньої енергії різання стебел рису на різних рівнях різання. Ними відмічено, що для верхнього рівня різання цей показник є найвищими. Було виявлено, що пікова сила різання на одиницю площі стрижня зменшувалася із збільшенням кута різання леза. Експерименти на рисових стеблах у відміченому дослідженні показали, що оптимізація ковзного кута різання та рівня стебла мають значний вплив на економію енергії.

Дослідженнями [9] підтверджено, що ефективне різання може покращити використання стебла і привести до енергозбереження. Авторами досліджено механічні властивості різання стебел проса на різних ділянках стебла, вміст вологи та кут нахилу леза. Відмічено, що напруга різання зменшувалася від нижньої області стебла до верхньої, а сила і енергія різання були значно вищими в нижній області, ніж в інших областях через параметри поперечного перерізу. Збирання стебел проса за умов високого або низького вмісту вологи може призвести до економії енергії. Напруга при різанні зменшувалася із збільшенням кута нахилу леза. Однак питома енергія різання спочатку зменшувалася, а потім поступово збільшувалася зі збільшенням кута нахилу леза. Проте теоретичного обґрунтування умов різання рослинних матеріалів із ковзанням автори не наводять.

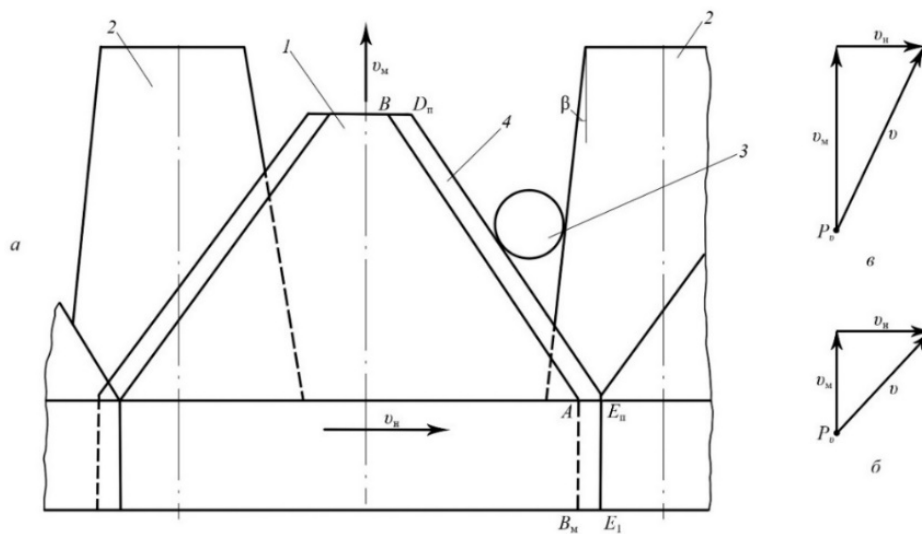
Через відсутність спеціальних ріжучих лез для існуючих комбайнів для збирання конопель, замість них доводиться використовувати ріжучі леза комбайнів для збирання рису та пшениці. Проте ці ріжучі леза мають проблеми, пов'язані з великим опором різання, високим споживанням енергії та низькою якістю різання. Саме тому авторами дослідження [10] було використано принципи біоніки для розроблення нового типу зубців леза. В основу біонічного ріжучого леза покладено криву профілю ріжучих зубів верхньої щелепи жука-довгорога. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що у порівнянні зі звичайним лезом, біонічне лезо досягло зниження середньої максимальної сили різання та споживання енергії різання на 7,4% та 8,0% відповідно. Це показало, що біонічне лезо має кращі показники зниження опору та споживання, ніж звичайне лезо [10].

Ріжучий апарат є однією з ключових частин комбайнів та жниварок, а продуктивність різання леза безпосередньо визначає продуктивність машини. Велика кількість ножів, їх нахил установки та частота взаємодії зі стеблами рослин веде до підвищення енерговитрат обладнання, що є недоліком жниварки з ріжучим апаратом. Саме тому актуальною проблемою є теоретичне обґрунтування умов різання із ковзанням, встановлення за таких умов співвідношення між кутом між напрямком швидкості різання і перпендикуляром до леза різання та кутом тертя.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є підвищення ефективності функціонування ріжучих апаратів сільськогосподарських машин завдяки удосконаленню режимів різання стебел із ковзанням. Завдяки цьому уможливаються умови різання із меншими значеннями нормального тиску, ніж за умов різання без ковзання. За стандартних значень показників жниварки з ріжучим апаратом та якісному різанні стебел рослин із ковзанням збільшення продуктивності складає до 17 %.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізуємо роботу ріжучої пари, що складається із сегмента ножа з правим і лівим лезами і протиріжучою пластиною, яка є опорою стеблам під час різання. Основну роботу при цьому виконують леза, наприклад, леза  $D_n E_n$  (рис. 1) і  $D_l E_l$  (рис. 2), що представляють у перерізі кожне вершину двогранного кута, утвореного гранями  $DA$  і  $DB$  (рис. 3), які називаються фасками. За умов тривалої роботи різальної пари лезо  $D$  (рис. 3, а) затуплюється до деякого стану  $D_1 D_2$  (рис. 3, б) і процес різання лезом трансформується у різання клином  $AD_1 D_2 B$  (рис. 3, б). За таких умов на матеріал впливають робочі грані (фаски), тоді як лезо відіграє допоміжну роль. Затупленість леза усувається його заточуванням.

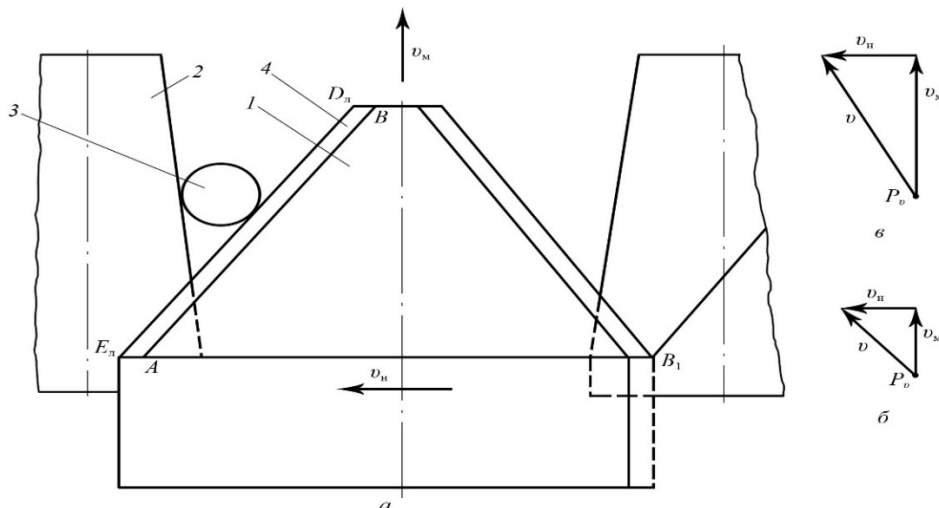
Отже, різання є процесом, у якому можуть брати участь і лезо, і робочі грані (фаски). Розглянемо докладніше процес різання горизонтально розташованим лезом.



1 – сегмент ножа, 2 – протиріжуча пластина, 3 – стебло, 4 – лезо сегмента

Рисунок 1 – Схема взаємодії сегмента ножа за умов його руху праворуч з протиріжучою пластиною і стеблом, що підводиться для його різання (а), а також плани швидкостей руху машини (б) і (в)

Джерело: розроблено автором



1 – сегмент ножа, 2 – протиріжуча пластина, 3 – стебло, 4 – лезо сегмента

Рисунок 2 – Схема взаємодії сегмента ножа за умов його руху ліворуч з протиріжучою пластиною і стеблом, що підводиться для його різання (а), а також плани швидкостей руху машини (б) і (в)

Джерело: розроблено автором

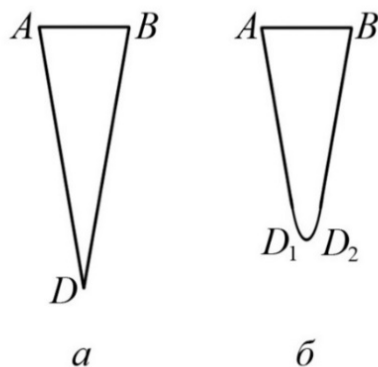


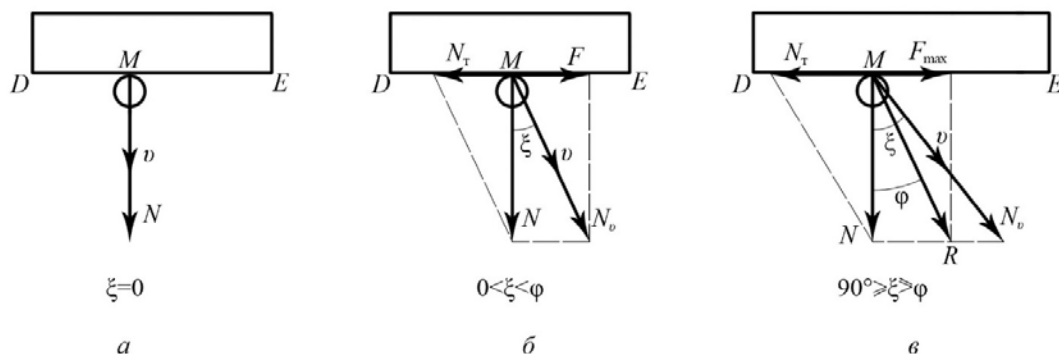
Рисунок3 – Види перерізу леза ножа: а – гостре, б – затуплене

Джерело: розроблено автором

У відповідності до теорії різання матеріалів, викладеної у [11, 12], існують три види різання лезом матеріалів: різання, що рубає, різання з поздовжнім переміщенням без ковзання і різання із ковзанням. Застосуємо цю теорію для різання стебел. Схеми, що ілюструють ці види різання для випадку, коли стебло горизонтальне і розташоване перпендикулярно лезу, що рухається вниз і вправо, наводяться на рис. 4 (площина леза в цих схемах вертикальна, кут  $\zeta$  – це кут між напрямком швидкості  $v$  різання і перпендикуляром до леза,  $\varphi$  – кут тертя леза про стебло,  $M$  – точка леза, що впливає на стебло,  $N$  – сила, що діє з боку леза на стебло):

а) різання, що рубає ( $\zeta = 0$ );б) різання з поздовжнім переміщенням леза без ковзання ( $0 < \zeta < \varphi$ );в) різання із ковзанням леза щодо стебла ( $\varphi < \zeta$ ).

Як видно з представлених даних, різання, що рубає, має місце, коли лезо ріже горизонтальне стебло, рухаючись зверху вниз зі швидкістю  $v$ , а нормальна сила  $N$  тисне на лезо теж вниз (рис. 4, а).



а – різання, що рубає; б – різання з поздовжнім переміщенням без ковзання; в – різання із ковзанням

Рисунок4 – Схеми режимів різання стебел лезом

Джерело: розроблено автором

За умов різання з поздовжнім переміщенням без ковзання швидкості точок леза  $DE$  відхилені від нормалі на кут  $\zeta$ , що менший за кут  $\varphi$  тертя леза по стеблу (рис. 4, б). Розкладемо за таких умов силу  $N$  нормального тиску на складові  $N_b$  за швидкістю  $v$  і  $N_m$  відносно леза. Сила  $N_m = N \operatorname{tg} \zeta$  менша за максимальну силу тертя  $F_{\max} = N \operatorname{tg} \varphi$ , оскільки  $\zeta < \varphi$ . В результаті дії складової  $N_m$  частка  $M$  стебла повинна була б рухатися в напрямку складової  $N_m$  щодо леза, але цього не відбувається, оскільки виникає сила тертя  $F$ , рівна

$N_m$  і протилежно спрямована. Ці сили  $N_m$  і  $F$  взаємно врівноважуються, і частка  $M$ , що перерізається, буде рухатися в напрямку складової  $N_v$  і швидкості  $v$ .

Випадок, коли  $\xi = \varphi$ , аналогічний випадку  $0 < \xi < \varphi$ . Різниця полягає лише в тому, що сила тертя  $F$  досягла максимального значення. Зважаючи на це, можна прийняти, що варіант на рис. 4, б справедливий і для випадку, коли  $0 < \xi \leq \varphi$ .

Різання із ковзанням характеризується великим кутом  $\xi$ . За таких умов сила тертя досягає свого максимального значення, але не врівноважує складову  $N_m$  (рис. 4, в). Сила  $N$  розкладається на складові  $N_v$  і  $N_m$ . Додаючи сили  $N$  і  $F_{max}$ , отримуємо рівнодіючу  $R$ , яка відхилена від нормалі на кут тертя  $\varphi$ . Частка  $M$ , що відрізається, буде рухатися в напрямку сили  $R$ , а точка леза буде рухатися в напрямку швидкості  $v$  і складової  $N_v$ .

Таким чином, за умов різання із ковзанням горизонтально розташованого стебла горизонтальним ножом, його лезо повинно тиснути на стебло перпендикулярно йому і рухатися під кутом  $\xi$  до нормалі, який більше кута тертя  $\varphi$ .

У зв'язку з тим, що кут  $\xi$  за даними згаданих вище джерел літератури, не обмежений за величиною (до  $90^\circ$ ), необхідно цей варіант різання проаналізувати і визначити межі значень кута  $\xi$ , за якого доцільно використовувати такий пристрій для різання стебел із ковзанням.

На рис. 5 наведено графіки, аналогічні рис. 4, в. Проте у більшому масштабі і за більшого значення кута  $\xi$ . Швидкості різання однакові на обох графіках (а і б). На рис. 5 б наведено переріз стебла, на який зверху діє лезо ножа донизу і праворуч. На цьому рисунку швидкість різання  $v$  розкладено на дві складові  $v_{ck}$  і  $v_y$ . Складова  $v_{ck}$  представляє собою горизонтальну швидкість ковзання леза по стеблу, а швидкість  $v_y$  представляє собою швидкість заглиблення леза у стебло. Ці складові швидкості визначаються згідно:

$$\left. \begin{aligned} v_{ck} &= v \sin \xi; \\ v_y &= v \cos \xi; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Аналізуючи наведені залежності відмітимо, що збільшення кута  $\xi$  призводить до відповідного зростання швидкості  $v_{ck}$ . За таких умов швидкість  $v_y$  заглиблення леза зменшується. За  $\xi = 90^\circ$ ,  $v_{ck} = v$ , а  $v_y = 0$ , тобто різання стебла з заглибленням у нього не відбувається. Зважаючи на це, для забезпечення різання стебла із ковзанням і з метою одночасного та раціонального скорочення часу на це ковзання леза по стеблу, доцільно операцію різання стебла проводити за значень кута  $\xi$  менше  $90^\circ$ .

У світлі викладеного вважаємо, що кут  $\xi_p$ , за якого слід проводити різання стебла із ковзанням, повинен перебувати в межах:

$$\varphi + \Delta\varphi \leq \xi_p \leq 90^\circ - \Delta\xi, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут тертя леза по стеблу (градуси);

$\Delta\varphi$  – невеликий кут ( $\sim 5^\circ$ ), спрямований у бік збільшення кута  $\varphi$  (рис. 5, а);

$\Delta\xi$  – невеликий кут ( $\sim 20^\circ$ ), що відраховується у бік опускання лінії  $MM_1$  (рис. 5, а).

Як видно із залежності (2), кут  $\xi_p$  – це кут, що відповідає зоні бажаної дії вектора швидкості точки леза для забезпечення різання стебел із ковзанням. Із (2) випливає, що кут  $\xi_p$  повинен дорівнювати або більше  $\varphi + \Delta\varphi$  і менше або дорівнювати  $90^\circ - \Delta\xi$ . Ці кути  $\Delta\varphi$  і  $\Delta\xi$  наведено на рис. 5 та 6. На цих рисунках також вказано і кут  $\xi_p$ .

Згідно даних [13, 14] відомо, що кут тертя – це кут між нормаллю до поверхні тіла та рівнодіючої сил нормального тиску та тертя.

У стебел пшениці, жита, рису, кукурудзи, вівса, соняшнику коефіцієнти тертя спокою по сталі становлять 0,36-0,58, а кут тертя спокою становить  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ . Відповідно для стебел льону і конопель коефіцієнти тертя спокою по сталі складають 0,31-0,38, а кути тертя по зазначеному матеріалу складають відповідно  $18^{\circ}$ - $21^{\circ}$ .

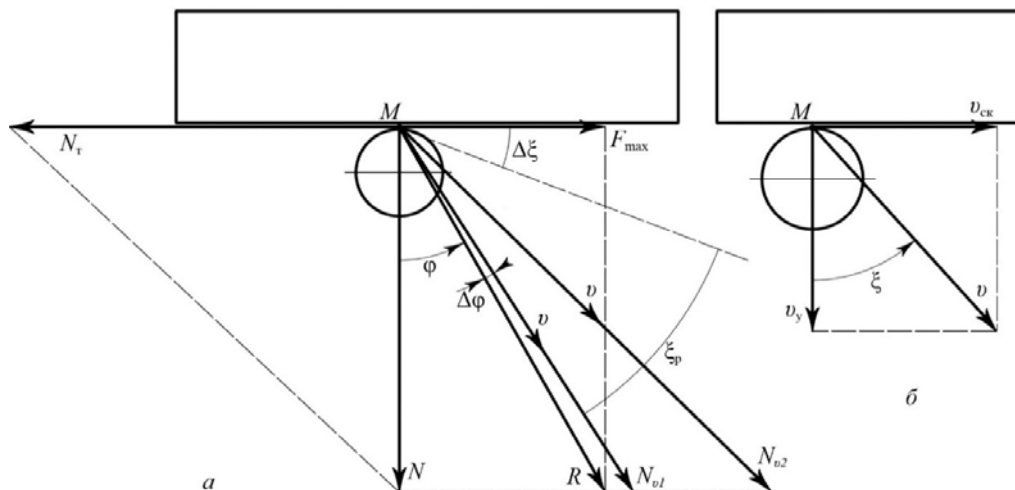


Рисунок 5 – Варіант режиму різання стебла із ковзанням (а) та схема розкладання швидкості  $v$  різання на складові  $v_{ck}$  і  $v_y$  (б)

Джерело: розроблено автором

На рис. 6 наведено три варіанти залежності швидкості  $v$  різання стебла із ковзанням від глибини занурення леза у стебло, сили  $N$  і кута  $\xi$ , що коливається в межах  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ . Аналізуючи наведені графічні залежності відмітимо, що чим більший кут  $\xi$ , тим більше часу витрачається на різання стебла із ковзанням. Це також потрібно враховувати.

Встановлено, що за умов різання матеріалів із ковзанням необхідна менша сила  $N$  у порівнянні з різанням без ковзання.

Для визначення міри ковзання розглянемо процес переміщення леза під час різання. Нехай ніж, рухаючись у напрямку швидкості  $v$  (рис. 7), перемістився з положення I у положення II. За таких відрізана частка  $M$ , що стикається з точкою  $A$  леза, перемістилася під дією сили  $R$  і виявилася біля відрізаної точки  $A_1$  леза в положенні  $M_1$ , а точка  $A$ , рухаючись у напрямку швидкості  $v$ , зайняла положення  $A_1'$ . Тоді  $A_1A_1'$  є шлях, пройдений відрізаною частинкою  $M$  ковзанням по лезу, а  $AA_1$  є абсолютне переміщення частинки. Позначимо відношення  $\frac{A_1'A_1}{AA_1}$  через  $\kappa_c$  і назовемо його

коефіцієнтом ковзання, що є мірою ковзання. Використовуючи теорему синусів та схему на рис. 7, отримуємо:

$$\frac{A_1'A_1}{\sin(\xi - \varphi)} = \frac{AA_1}{\sin(\frac{\pi}{2} - \xi)},$$

звідки

$$\kappa_c = \frac{A_1'A_1}{AA_1} = \frac{\sin(\xi - \varphi)}{\cos \xi}. \quad (3)$$

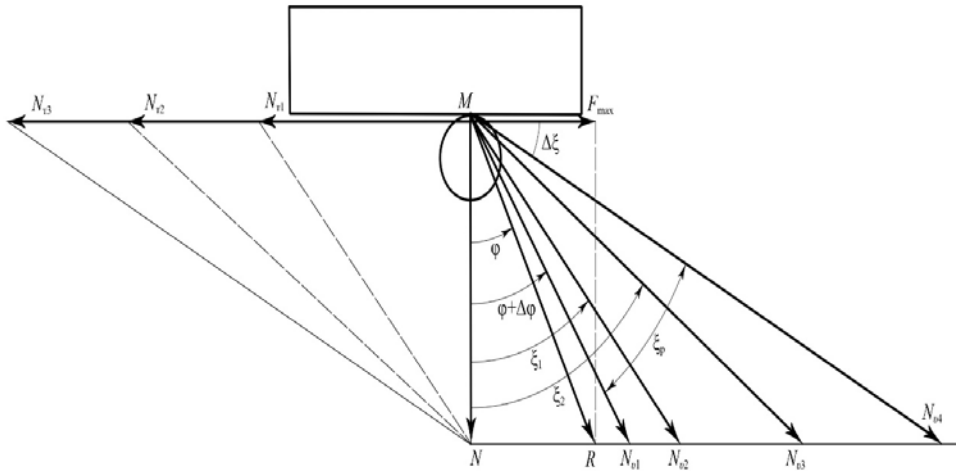


Рисунок 6 – Варіант графіків різання стебла із ковзанням за різних значень кута  $\xi_1 : \xi_1 \approx 40^\circ ; \xi_1 \approx 50^\circ ; \xi_1 \approx 30^\circ$

Джерело: розроблено автором

З рівності (3) видно, що за  $\xi = \varphi$  коефіцієнт  $\kappa_c = 0$ , а за  $\xi = \pi/2 \cdot \kappa_c$  прагне нескінченності, тобто збільшується із зростанням  $\xi$ .

Для забезпечення різання необхідно, щоб тиск від різання створював у матеріалі напруги змінання, що дорівнюють межі його міцності.

Як свідчать результати експериментальних досліджень, за різання із ковзанням необхідна менша сила  $N$ , тобто менший нормальний тиск, ніж за різанням без ковзання. Зі збільшенням кута  $\xi$  ця сила  $N$  зменшується.

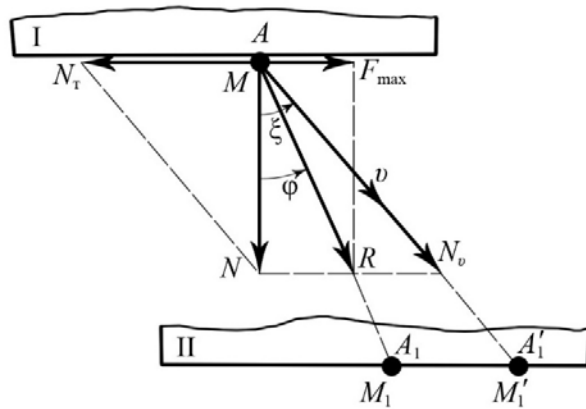


Рисунок 7 – Схема переміщення зрізаної частини стебла за умов його різання із ковзання  
Джерело: розроблено автором

Викладені закономірності наводяться для випадку, коли лезом є нижня сторона вертикальної площини ножа, а стебло горизонтальне (рис. 4, 5 і 6). У існуючих різальних апаратах лезо знаходиться в площині, близькій до горизонтальної, а положення стебел вертикальне, або близьке до вертикального положення. Такі випадки наводяться на рис. 1 і 2. Ця різниця у конструкції не змінює суті справи. В обох випадках може бути різання стебла із ковзанням.

**Висновки:**

1. Встановлено умови різання із ковзанням горизонтально розташованого стебла ножом, згідно яких, лезо повинно тиснути на стебло перпендикулярно йому і рухатися під кутом  $\xi$  до нормалі, який більше кута тертя  $\varphi$ . Проаналізовано і визначено межі

значень кута  $\zeta$ , за якого доцільно використовувати такий пристрій для різання стебел із ковзанням.

2. Відмічено, що для забезпечення різання стебла із ковзанням і з метою одночасного та раціонального скорочення часу на це ковзання леза по стеблу, доцільно операцію різання стебел проводити за значень кута  $\zeta$  менше  $90^\circ$ .

3. Встановлено, що за умов різання стебел із ковзанням необхідна менша сила  $N$  у порівнянні з різанням без ковзання.

4. Встановлено теоретичну залежність для визначення коефіцієнта ковзання, що є мірою ковзання.

## Список літератури

1. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов. Тбилиси, Изд. ГСХИ, 1960. 146 с.
2. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин. Москва. Машиностроение, 1967. 167 с.
3. Заика П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. II. Машини для заготівлі кормів. Харків. ОКО, 2003. 345 с.
4. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Москва. Машиностроение, 1975. 303 с.
5. Ивашко А.А. Вопросы теории резания органических материалов лезвием. *Тракторы и сельхозмашины*. 1958. № 2. С. 34-37.
6. Василенко И.Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин. *Труды ВИСХОМ*. Сб. 5. Москва, 1937. С. 7-114.
7. Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Zhang, Z., He, Y., Sun, D. Simulation and test of cutting mechanical characteristics of millet stalk based on ANSYS/LS-DYNA. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. 61 (2). Pp. 143-150. DOI: 10.35633/inmateh-61-16
8. Zhang, C.L., Chen, L.Q., Xia, J.F., Zhang, J.M. Effects of blade sliding cutting angle and stem level on cutting energy of rice stems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019 12 (6). Pp. 75-81. DOI: 10.25165/ijabe.20191206.4604.
9. Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Sun, D., Hou, H. Effects of stem region, moisture content and blade oblique angle on mechanical cutting of millet stems. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2018. 55 (2). Pp. 105-112. ISSN20684215
10. Tian, K., Li, X., Shen, C., Zhang, B., Huang, J., Wang, J., Zhou, Y. Design and test of cutting blade of cannabis harvester based on longicorn bionic principle. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. 33 (5). Pp. 56-61. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.05.008
11. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва: Колос, 1980. С. 72-78.
12. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Москва. Л. Гос. изд. с.-х. литературы, 1955.
13. Особов В.И. Механическая технология кормов. Москва. Колос, 2009. 339 с.
14. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин. Киев, Изд-во УСХА, 1992. 235 с.

## Referencis

1. Zheligovskij, V.A. (1960). *Jelementy teorii pochvoobratyvajushhih mashin i mehanicheskoy tehnologii sel'skohozejstvennyh materialov* [Elements of the theory of tillage machines and mechanical technology of agricultural materials] Tbilisi, Izd. GSHI 1201 [in Russian].
2. Bosoj, E.S. (1967). *Rezhushhie apparaty uborochnyh mashin* [Cutting devices of harvesting machines]. Moscow. Mashinostroenie [in Russian].
3. Zaika, P.M. *Teorija sil'skogospodars'kih mashin. Mashini dlja zagotivlikormiv* [Theory of agricultural machinery. Machines for forage harvesting]. V.II. Kharkiv: OKO [in Russian].
4. Reznik, N.E. (1975). *Teorija rezanija lezviem i osnovy rascheta rezhushhih apparatov* [The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices]. Moscow. Mashinostroenie [in Russian].

5. Ivashko, A.A. (1958). Voprosy teorii rezanija organicheskikh materialov lezviem [Questions of the theory of cutting organic materials with a blade]. *Traktory i sel'hozmashiny – Tractors and Agricultural Machines*, 2, 34-37 [in Russian].
6. Vasilenko, I.F. (1937). Teoriya rezhushhih apparatov zhatvennyh mashin [Theory of cutting devices of reaping machines]. *Trudy VISHOM – - Proceedings of VISKHOM. Ser. 5. Moskva* [in Russian]. 1201 [in Russian].
7. Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Zhang, Z., He, Y. & Sun, D. (2020). Simulation and test of cutting mechanical characteristics of millet stalk based on ANSYS/LS-DYNA . *INMATEH - Agricultural Engineering*, 61 (2), pp. 143-150. DOI: 10.35633/inmateh-61-16 [in English].
8. Zhang, C.L., Chen, L.Q., Xia, J.F. & Zhang, J.M. (2019). Effects of blade sliding cutting angle and stem level on cutting energy of rice stems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12 (6), pp. 75-81. DOI: 10.25165/j.ijabe.20191206.4604. [in English].
9. Zhang, Y., Cui, Q., Li, H., Sun, D., Hou, H. (2018). Effects of stem region, moisture content and blade oblique angle on mechanical cutting of millet stems. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 55 (2), pp. 105-112. ISSN20684215 [in English].
10. Tian, K., Li, X., Shen, C., Zhang, B., Huang, J., Wang, J., Zhou, Y. (2017). Design and test of cutting blade of cannabis harvester based on longicorn bionic principle *Nongye Gongcheng Xuebao . Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33 (5), pp. 56-61. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.05.008 [in English].
11. Klenin, N.I. & Sakun, V.A. (1980). *Sel'skhozjajstvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and reclamation machines]*. Moscow [in Russian].
12. Letoshnev, M.N. (1955). *Sel'skhozjajstvennye mashiny [Agricultural machines]* Moscow. L. Gos. izd. s.-h. literatury [in Russian].
13. Osobov V.I. (2009). *Mehanicheskaja tehnologija kormov [Mechanical feed technology]*. Moscow. Kolos [in Russian].
14. Hajlis, G.A. (1992). *Osnovy teorii i rascheta sel'skhozjajstvennyh mashin [Fundamentals of the theory and calculation of agricultural machines]*. Kiev, Izd-vo USHA, 1992. 235 s. 1201 [in Russian].

**Viktor Sheichenko**, Prof., DSc., **Igor Dudnikov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine*

**Vitaliy Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine*

**Viktor Shevchuk**, Lecturer-Methodologist, Highest Category

*Uman Vocational College of Technology and Business, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine*

### **Research of Conditions of Cutting of Stalks with Sliding**

Features of cutting of a stalk by a blade with sliding are analytically investigated. The conditions of cutting with sliding of a horizontally located stalk with a knife are substantiated, according to which the blade must press on the stalk perpendicular to it and move at an angle  $\zeta$  to the normal. The marked angle must be greater than the friction angle  $\varphi$ .

The limits of change of values of the angle  $\zeta$  at which cutting of stalks with sliding is possible are analyzed and defined. It is noted that to ensure cutting of the stem with sliding, as well as to simultaneously and rationally reduce the sliding time of the blade on the stem, it is advisable to perform the operation of cutting stems at an angle  $\zeta$  less than  $90^\circ$ .

The dependence determined by the conditions of observance by the angle  $\zeta_p$  of the zone of the desired action of the velocity point of the blade point to ensure cutting of the stems with sliding is established.

The theoretical dependence for determining the sliding coefficient is established, which allows to numerically estimate the degree of sliding.

It is noted that cutting with sliding requires less force  $N$ , less normal pressure than non-slip cutting. Under such conditions, an increase in the angle  $\zeta$  leads to a corresponding decrease in the force  $N$ .

The implementation of the results of the study in the cutting machines of harvesters, forage machines, as well as segmental cutters of reciprocating movement of harvesters, will allow due to the quality of the technological process of cutting plant stems with sliding increase in productivity up to 17%.

**sliding cutting, sliding coefficient, sliding cutting conditions**

*Одержано (Received) 24.10.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 08.11.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021*