

manifest themselves at the macro level. On the meso level, a single role is played by the single properties of lubricants, and at the micro- and nanoscale their influence is minimized. At these levels, the flow of processes in the lubricants of the tribosupply of samples and parts is influenced, in the main, by the microdispersion of their initial components. They can also be nanodispersed. At the nanoscale, the role of the contact properties of lubricants is significantly reduced and other regularities that make it impossible to predict their effectiveness under conditions of boundary friction regimes, according to physico-chemical properties, become effective. It has been established that without the consideration of meso, micro and nanoeffects and phenomena, it is practically impossible to predict the effect of lubricants on the main tribotechnical indices, such as coefficient of friction, wear rate, anti-seize ability, and others.

**mobile agricultural and road transport equipment, scale-level approach, tribocrete of parts, surface layer, lubricant, synergism, tribotechnology, triboplasm**

Одержано 30.10.17

**УДК 631.352.2**

**А.В. Бабій, доц., канд. техн. наук, М.І. Цепенюк, доц., канд. техн. наук**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*E-mail: ababiy@ukr.net*

## **Підвищення ефективності різання при роботі сегментно-пальцевого різального апарату**

У роботі проведено аналіз геометричних параметрів різальної пари сегментно-пальцевого різального апарату, які впливають на надійність захоплення стебел при їх зрізуванні. Наведено одне з конструктивних рішень, що направлено на зменшення кута розхилу різальної пари та забезпечення малих критичних кутів защемлення рослин. Отриманий ефект дозволяє надійно захоплювати рослини навіть при затуплених лезах різальних елементів.

**сегментно-пальцевий різальний апарат, кут защемлення, різальна пара, хід ножа, сегмент, протирізальна пластина**

**А.В. Бабій, доц., канд. техн. наук, М.І. Цепенюк, доц., канд. техн. наук**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, г. Тернопіль, Україна*

## **Повышение эффективности резания при работе сегментно-пальцевого режущего аппарата**

В работе проведен анализ геометрических параметров режущей пары сегментно-пальцевого режущего аппарата, которые влияют на надежность захвата стеблей при их срезании. Приведено одно из конструктивных решений, которое направлено на уменьшение угла раствора режущей пары и обеспечения малых критических углов защемления растений. Полученный эффект позволяет надежно захватывать растения даже при затупленных лезвиях режущих элементов.

**сегментно-пальцевый режущий аппарат, угол защемления, режущая пара, ход ножа, сегмент, противорезающая пластина**

**Постановка проблеми.** Розвиток сільськогосподарського машинобудування ставить перед конструкторами все нові й нові задачі. Серед них – підвищення продуктивності сучасних збиральних машин, зокрема зернозбиральних комбайнів. Різальні апарати таких машин хоч і мають достатню продуктивність, але їх робота не завжди є задовільною. Особливо це проявляється при затупленні лез різальних кромок

для апаратів підпорного зрізу. Тут часто можна спостерігати висковзування рослин з розхилу різальної пари із-за нездатності втримати рослину до повного її перерізання. Кути защемлення стебел, що утворені в розхилі різальної пари, є постійними при плоско-паралельному русі леза сегмента до леза протирізальної пластини для їх класичної конструкції, що не завжди дозволяє створити критичний кут защемлення стебла рослини при різному його фізичному стані.

Тому наслідком роботи такого різального апарата є зниження продуктивності роботи, підвищення відносних швидкостей різання, погіршення якості зрізування рослин тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виконуючи аналіз проведених досліджень, автори, які розвивають дану проблематику, пропонують різні варіанти таких рішень. Основним і найбільш ефективним з них є виконання насічок на ріжучих кромках різальної пари [1-2]. За рахунок високих питомих тисків насіченої поверхні на рослину, вона надійно втримується та перерізається. Використовуючи такий підхід, апарат відмінно працює до моменту зношування (руйнування) елементів насічки. Далі можливе висковзування рослини з розхилу різальної пари, що значно погіршує якість роботи різального апарата.

Процес різання при виробництві сільськогосподарської продукції є дуже поширеним. Розділення різанням зустрічається чи не в кожній технології вирощування продукції рослинництва. Найбільш наглядно цю операцію виконують різальними апаратами машин для заготівлі кормів, зерно- та кукурудзозбиральних комбайнів. За класичним визначенням розрізняють безпідпорне та підпорне зрізування. Щодо безпідпорного зрізування, то цей спосіб має ряд переваг та недоліків. Він не підходить для збирання хлібостою зернових та зернобобових культур, оскільки не можливо забезпечити «лагідного» зрізування вказаних культур. На противагу цьому способу застосовують апарати підпорного зрізу – сегментно-пальцеві, безпальцеві (двоножові) тощо. Такі апарати вимагають значно нижчих швидкостей різання. Якщо для сегментно-пальцевого різального апарата достатньою є відносна швидкість різання в межах 2 м/с, то для апаратів безпідпорного зрізування – від 20 м/с для грубостебельних рослин і від 40-50 м/с для тонкостебельних рослин. Ці кінематичні параметри мають безпосередній вплив на енергоспоживання різальними апаратами та сам процес зрізування рослини і збудження в її стеблі коливачів [3, 4].

За аналізом використання різних типів різальних апаратів, сегментно-пальцеві є найбільш поширеними в конструкціях збиральних сільськогосподарських машин. Їх робота є цілком задовільною, якщо витримані кінематичні режими роботи, вони перебувають в задовільному технічному стані та належним чином відрегульовані. З практичного досвіду відомо, що в процесі експлуатації найчастіше порушуються зазори між елементами різальної пари та затуплюється різальна кромка. Ці фактори призводять до неякісної роботи такого різального апарата. Наслідком є висковзування стебел з розхилу різальної пари із-за зменшення критичного кута защемлення [5].

Якщо розглядати різальну пару – гладкий сегмент та протирізальну пластину з насічками, то для зрізування трав при вологості 40 % такими елементами, критичний кут защемлення рослин становить  $70-75^{\circ}$ , а при затупленому сегменті –  $65-67^{\circ}$ . Для різальної пари – гладкі сегмент та протирізальна пластинка, цей кут становить  $45-50^{\circ}$  (при нормальній гостроті різальних кромок або протирізальна пластинка притуплена); якщо сегмент затуплений, протирізальна пластинка гостра –  $25-35^{\circ}$ ; якщо обидва елементи різальної пари затуплені, то критичний кут защемлення лежить в межах  $22-25^{\circ}$  [6]. На даному етапі дослідження вплив зазору в елементах різальної пари не

розглядаємо, окремі висновки зроблені в роботі [7]. Тут враховуватимемо тільки зміну критичного кута защемлення рослини в розхилі різальної пари при зміні кута тертя.

З аналізу критичних кутів защемлення рослин маємо, що якісний зріз можливий при гострих лезах сегмента та протирізальної пластини, коли цей кут становить  $70-75^{\circ}$  та  $22-25^{\circ}$ , якщо леза є затупленими. Отже, діапазон зміни кута защемлення на період експлуатації різальної пари звужується від  $75^{\circ}$  до  $22^{\circ}$ . Але, розглядаючи класичні різальні пари, робочі кромки яких одна по відношенню до іншої здійснюють плоско-паралельні рухи, кут защемлення (розхилу різальної пари) залишається постійним. Для різних типів різальних апаратів з ходом ножа  $S$  ( $t$  – відстань між центрами сегментів,  $t_0$  – відстань між пальцями):  $S=t=t_0=76,2$  мм, кути розхилу різальної пари для відмінних конструкцій різальних апаратів становлять:  $30^{\circ}30'$ ,  $32^{\circ}50'$ ,  $36^{\circ}20'$ ;  $S=2t=2t_0=1524$  мм –  $30^{\circ}30'$ ;  $S=t=2t_0=1016$  мм –  $46^{\circ}10'$ ;  $S=t=2t_0=76,2$  мм –  $33^{\circ}10'$ ;  $S=t=1,5t_0=76,2$  мм –  $38^{\circ}40'$ ;  $S=t=t_0=90$  мм –  $45^{\circ}40'$ ;  $S=2t=2t_0=101$  мм –  $24^{\circ}$  [6].

З цього випливає, що при використанні різальної пари з прямолінійними різальними кромками і для окремого типу різального апарата, кут защемлення рослин є постійним і в процесі експлуатації (незалежно від гостроти різальних кромки) не змінюється. Тому, зважаючи на стан різальних кромки, кут розхилу різальної пари не завжди забезпечує критичний кут защемлення рослини і відбувається її висковзування з різального апарата, а в кінцевому результаті – неякісне зрізування.

Інакше кажучи, критичний кут защемлення, що забезпечує через силу тертя надійне втримування рослини в розхилі різальної пари при її перерізанні, зменшується при затупленні робочих лез.

Сам процес зрізування рослин в сегментно-пальцевих різальних апаратах протікає наступним чином: на першому етапі при заданій швидкості ходу ножа його дія на стебла рослин забезпечує їх відгинання та з невеликою імовірністю перерізання окремих стебел; другий етап виражений стисканням стебел між різальними кромками; і завершальним етапом є перерізання стиснутих підпертих стебел. Таке зрізування рослин справедливе, якщо на третьому етапі не відбувається висковзування стебел з розхилу різальної пари [7].

**Постановка завдання.** На основі проведених теоретичних досліджень та практичного досвіду запропонувати конструктивні зміни в класичній конструкції різальної пари сегментно-пальцевого різального апарата для підвищення ефективності втримування рослини в розхилі різальної пари, шляхом забезпечення мінімального критичного кута защемлення.

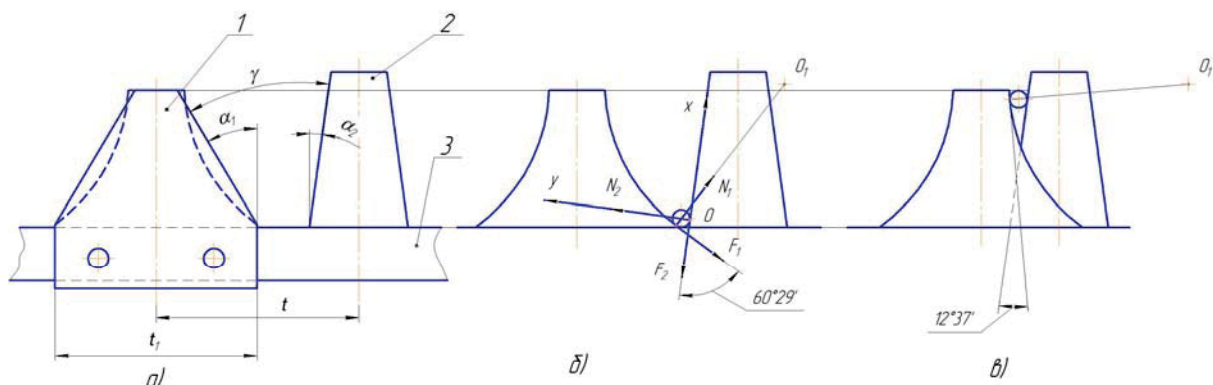
**Виклад основного матеріалу.** У роботі проведено дослідження та проаналізовано можливість конструктивно створити діапазон кутів защемлення стебла рослини при здійсненні ножем робочого ходу. Як проміжний етап дослідження пропонується виготовити різальну пару: сегмент з криволінійними робочими різальними кромками, а протирізальна пластина – стандартна прямолінійна, рис.1.

Для високоякісного зрізу необхідна умова, при якій відсутнє виштовхування стебел з різальної пари, граничний кут розхилу (кут защемлення) якої становить [1, 2, 8]

$$\gamma = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (1)$$

де  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – кути встановлення різальних лез, рис. 1, а.

Тут маємо (рис.1, б):  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – кути тертя і  $N_1$  і  $N_2$  – нормальні реакції на стебло з боку леза сегмента та протирізальної пластини.



а – стандартна конструкція із запропонованими змінами: 1 – сегмент; 2 – протиризальна пластина; 3 – ножова полоса; б – зрізування на початку робочого ходу (максимальний кут защемлення, схема дії сил); в – завершення зрізування в кінці робочого ходу (мінімальний кут защемлення)

Рисунок 1 – Різальна пара

Сили тертя, що виникають між стеблом і лезами різальної пари, будуть рівні

$$F_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi_1 \text{ і } F_2 = N_2 \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (2)$$

Розглянувши умову рівноваги стеблини в розхилі різальної пари, відповідно до прийнятих напрямків координатних осей, рис.1,б, запишемо вирази

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= N_1 \sin \gamma - F_2 - F_1 \cos \gamma = 0; \\ \sum Y &= N_2 - F_1 \sin \gamma - N_1 \cos \gamma = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Щоб не було виштовхування стебла, необхідно витримати умову

$$N_2 \operatorname{tg} \varphi_2 \geq N_1 \sin \gamma - N_1 \operatorname{tg} \varphi_1 \cos \gamma. \quad (4)$$

З другого рівняння (3)

$$N_2 = N_1 (\cos \gamma + \operatorname{tg} \varphi_1 \sin \gamma). \quad (5)$$

Підставивши отриманий вираз для  $N_2$  в нерівність (4), матимемо

$$\cos \gamma \operatorname{tg} \varphi_2 + \sin \gamma \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \varphi_2 \geq \sin \gamma - \operatorname{tg} \varphi_1 \cos \gamma.$$

Після перетворення знаходимо, що

$$\operatorname{tg} \gamma \leq \operatorname{tg} (\varphi_1 + \varphi_2).$$

Звідси

$$\gamma \leq \varphi_1 + \varphi_2.$$

Отже, умова защемлення стебел в розхилі різальної пари матиме вигляд

$$\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (6)$$

Отриманий вираз (6) об'єднує фізичну та геометричну сторони задачі. При зміні кута  $\alpha_1$ , який визначається між дотичною до кривої, що описує різальну кромку леза сегмента, в точці контакту стебла рослини та напрямком руху машини, змінюється протягом одного ходу ножа. Вважаючи, що кут  $\alpha_2$  є постійним, то і значення кута защемлення рослини як суми вказаних кутів змінюється в досить широкому діапазоні. Якщо прийняти радіус дуги різальної кромки 66,7 мм (рис. 1, б і в) і діаметр умовної стеблини 6,7 мм, то кут защемлення може змінюватися приблизно від  $60^0$  до  $13^0$ . Такий діапазон зміни кута розхилу різальної пари дозволить забезпечити критичний кут защемлення рослини в різальній парі на протязі всього періоду її експлуатації, виходячи з гостроти лез. Як було відзначено вище, для зрізування трав при вологості 40 %, критичний кут защемлення рослин для гострих лез становить  $70-75^0$ , при затуплених лезах він зменшується до  $22-25^0$ , а в дійсності кут розхилу різальної пари для стандартних різальних апаратів є постійним. Тому при належній гостроті лез цей критичний кут защемлення витримується, а при затуплених – умова невисковзування порушується.

**Висновки.** Аналізуючи кути защемлення запропонованої різальної пари, бачимо, що даний кут має діапазон зміни від  $60^0$  до  $13^0$ . Це означає, що стеблина, ковзаючи вздовж леза сегмента і протирізальної пластини, знайде таке своє положення, при якому кут защемлення виявиться критичним при довільній гостроті лез. На виході стеблини з розхилу різальної пари кут защемлення може становити  $13^0$ , що майже вдвічі менше від рекомендованого критичного кута защемлення –  $22^0$ . Враховуючи це, рослина втримуватиметься навіть затупленими лезами в два рази надійніше, ніж при типовій конструкції різальної пари.

## Список літератури

1. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин [Текст] / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. – М.: Машиностроение, 1980. – 565 с.
2. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Под ред. Г.Е. Листопада.– М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
3. Бабій, А.В. Обґрунтування конструктивних особливостей енергозберігаючого приводного механізму косарки [Текст] / А.В. Бабій, Т.І. Рибак, М.В. Бабій // Вісник ХНТУСГ. Випуск 134 «Технічний сервіс машин для рослинництва». – Харків, 2013. – С.116–122.
4. Бабій, А.В. Підвищення ефективності різання стебельних культур [Текст] / А.В. Бабій // Обладнання і технології сучасного машинобудування : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України, академіка АН вищої школи України, д. т. н., проф. Нагорняка С. Г. (Україна, м.Тернопіль, 11-12 травня 2017 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2017 – С. 35.
5. Бабій, А.В. Аналіз кута защемлення рослин в розхилі різальної пари [Текст] / А.В. Бабій // Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – С. 113.
6. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин [Текст] / Под ред. канд. техн. наук М.И. Клецкина. Т.3 – М.: «Машиностроение», 1968. – 744 с.
7. Бабій, М.В. Підвищення ефективності роботи різального апарату косарки [Текст] / М.В. Бабій, П.В. Попович, А.В. Бабій // Вісник ХНТУСГ. – Випуск 170 “Технічний сервіс машин для рослинництва”. – Харків, 2016. – С.176–180.
8. Бабій, А.В. Конструктивне рішення для підвищення ефективності защемлення рослин в розхилі різальної пари [Текст] / А.В. Бабій // Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – С. 114-115.

**Andriy Babiy, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Mykhailo Tsepenyuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**  
*Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

**Increasing of cutting efficiency of segmental finger apparatus**



Constructive solutions are suggested in classical construction of cutting pair of segmental finger cutting apparatus for increasing efficiency of plant capture in vacillation angle of cutting pair by providing the minimum critical angle of jamming.

Geometric parameters of cutting pair of segmental finger apparatus were assayed. They influence on reliability of straw capture while cutting. One of constructive solutions is given which is directed on decreasing of vacillation angle of cutting pair and provides small critical angle of plants jamming. Received effect allows to capture plants reliably even when cutting element blade is blunt.

Angles of jamming of cutting pair which are got have diapason from  $60^{\circ}$  to  $13^{\circ}$ . It means that one straw while moving along the blade of segment and anti-cutting plate will find its position when angle of jamming is critical and blade sharpness is variable. Angle of jamming can be  $13^{\circ}$  when straw leaves vacillation of cutting pair and it's 2 times less of recommended critical angle of jamming –  $22^{\circ}$ . To consider it plant will hold out two times reliably in cutting pair even when blades are blunt then in typical construction of cutting pair.

**segmental finger cutting apparatus, angle of jamming, cutting pair, knife (blade) step, segment, anti-cutting plate**

Одержано 05.11.17

**УДК 681.513**

**О.О. Броварець, доц., канд. техн. наук**

*Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м.Київ, Україна*

*E-mail: brovaretsnau@ukr.net*

## Математична модель граничної бистродії виконавчих робочих органів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь

Для забезпечення належної ефективності сільськогосподарського виробництва виникає необхідність забезпечення якості виконання технологічних операцій на основі даних оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Технічні системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість отримати оперативні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища та забезпечити належну якість виконання технологічних операцій на основі отриманих даних. Виконавчі робочі органи таких систем повинні забезпечити належну якість виконання технологічної операції за рахунок швидкодії виконавчих робочих органів, обумовлену механіко-конструктивними параметрами сільськогосподарських машин, які виконують технологічну операцій.

Така модель дозволяє забезпечити раціональне внесення технологічного матеріалу з врахування агробіологічного стану ґрунтового середовища при цьому можливо забезпечити приріст фактичної врожайності сільськогосподарських культур на рівні 20%.

**оптимальне керування, гранична бистродія, норма внесення, технологічний матеріал**

**А.А. Броварець, доц., канд. техн. наук**

*Київський кооперативний інститут бізнесу і права, г.Київ, Україна*

**Математическая модель предельного быстродействия исполнительных рабочих органов технической системы оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий**