

**УДК 631.363.2**

## **ВПЛИВ ТРАНСФОРМАЦІЇ КУТА ЗАГОСТРЕННЯ ЛЕЗА У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ**

**Середа Л.П**

*Вінницький національний аграрний університет*

**Кузьменко В.Ф**

*Інститут механізації та електрифікації сільського господарства*

**Холодюк О.В**

*Вінницький національний аграрний університет*

*Встановлено вплив та значення кінематичної трансформації кута загострення леза плоского дискового ножа у процесі різання стеблової маси бітерно-ножовим різальним апаратом. Наведені графічні залежності основних показників, які впливають на процес різання.*

*Influence and value of kinematics transformation of blade intensifying corner of flat disk knife are set in the process of cutting of stalk mass by a beater-blade cutting machine. The dependences over of basic indexes that stipulate a cutting process are brought.*

### **Постановка проблеми**

Більшість листостеблових кормів, що заготовляють в Україні це подрібнені корми, які можуть складати майже 85 % від загальної їх кількості. До них належать: силос, сінаж, зелений корм, сіно та інші. Залежно від прийнятої технології заготівлі та виду очікуваного корму при збиранні використовують, як причіпні так і самохідні кормозбиральні машини, візки-підбирачі-транспортувальники та прес-підбирачі. Визначальною операцією даних машин є процес різання листостеблових матеріалів, який виконують різальними апаратами різних конструкцій.

Різання – це технологічний процес обробки або руйнування перероблюваного матеріалу шляхом його розділення із порушенням цілісності на частки встановленої форми, розмірів і якості поверхні під дією робочого органу (різального інструменту). Можливістю зменшення енергомісткості процесу різання є бітерно-ножовий різальний апарат з дисковим ножом, що може бути використаний в прес-підбирачах та візках-підбирачах [1]. Особливістю такого різального апарата є використання активного дискового ножа, що у порівнянні із загально вживаним ножом створює можливість зниження енерговитрат та зусиль на різання завдяки трансформації кута загострення ножа.

### **Аналіз основних досліджень і публікацій**

Процес різання листостеблових матеріалів є одним із варіантів подрібнення і тому підкоряється загальним законам руйнування матеріалів під дією зовнішніх сил, що перевищують сили молекулярного зчеплення. Однак даний процес має свої характерні особливості, які більш повно відображаються в теорії різання лезом.

Теорію різання лезом розробив академік В.П. Горячкін [2]. На основі досліджень він встановив два різновиди процесу різання лезом: різання за допомогою нормального

переміщення леза і різання за допомогою переміщення леза у двох взаємно перпендикулярних напрямках – нормальному і паралельному лезу (тангенціальному).

В.О. Желіговський [3], у свою чергу, виділяє три випадки різання лезом: перший – нормальним тиском; другий – нормальним тиском з бічною силою, що не викликає різання з ковзанням; третій – різання з ковзанням.

Подальший розвиток теорії процесу подрібнення листостеблових матеріалів різанням, методики розрахунку і конструювання різальних апаратів подрібнювачів одержали в роботах Н.В. Саблікова, Ю.Ф. Новікова, С.В. Мельнікова, Н.Ю. Резніка, а також у роботах інших вітчизняних та зарубіжних вчених.

В залежності від способу дії робочого органу на матеріал розрізняють три способи різання: пуансоном (штамп), клином (різцем) та лезом. Основною відмінністю розглянутих видів різання є те, що утворення нової поверхні матеріалу, у випадку дії пуансона і клина, проходить внаслідок появи внутрішніх дотичних напружень, тоді як процес різання лезом вказана поверхня утворюється під безпосереднім тиском крайки леза. У даному випадку руйнування цілісності стеблових матеріалів відбувається саме під дією леза.

### ***Мета роботи та об'єкт досліджень***

Обґрунтувати зміну (трансформацію) величини кута загострення леза плоского дискового ножа у процесі різання листостеблових матеріалів.

### ***Результати досліджень***

Будова, принцип роботи та схема експериментальної установки бітерно-ножового різального апарата з дисковим ножом наведені у роботах [1, 4]. Перш ніж встановити вплив кута загострення леза плоского дискового ножа на процес різання, розглянемо елементи різальної пари та можливі умови протікання процесу різання.

Робочими органами бітерно-ножового різального апарата [1] є плоский дисковий ніж та протирізальний елемент, які утворюють різальну пару. Дисковий ніж містить такі три частини: крайку (кромку), яка утворює вершину двогранного клина; бокові грані (фаски), що утворюють кут клина та тіло ножа у формі диска. Під лезом ножа слід розуміти сукупність крайки та бокових граней разом узятих. Головною особливістю дискового ножа, у порівнянні з іншими, є те, що його лезо безкінечне, тобто замкнуте "не має ні початку ні кінця", а його довжина прямопропорційна радіусу диска ( $l = 2\pi R$ ). Протирізальний елемент являє собою набір попарно встановлених пальців на живильному роторі, які виконують функцію підпору, протягування розрізаної листостеблової маси крізь дисковий ніж та виведення її із різального апарата.

Значення геометричних параметрів ножа настільки велике, що їх дослідження є одним із найважливіших об'єктів в теорії різання. До таких параметрів відносять кут загострення  $\beta$ , гостроту крайки  $\delta$ , кут різання  $\gamma$ , кут встановлення  $\tau$ , а також зазор  $\Delta$  між лезом ножа і протирізальною пластиною. Розглянемо більш детально вплив кута загострення  $\beta$  леза дискового ножа на процес різання стеблової маси.

Під кутом загострення  $\beta$  розуміють кут, що утворений боковими гранями (фасками) леза у його різальній крайці, який вимірюють в площині перпендикулярній до крайки леза. Від величини цього кута (гостроти робочих органів) у значній мірі залежить енергомісткість процесу і довговічність робочих органів. Так, зусилля різання зменшується при зменшенні

кута загострення, при цьому і роботоздатність (довговічність) ножа різального елемента – зменшується.

Геометричні параметри різальної пари бітерно-ножового апарата відносять до групи, що знаходяться в площині різання до яких належать: кут защемлення  $\chi$  та кут нахилу леза  $\alpha$ . Кут защемлення  $\chi$  – це кут утворений між лезом ножа та протирізальною пластиною. Значення його у процесі різання та умови, що впливають на вибір його величини наведено у [5]. Кутом нахилу леза  $\alpha$  вважається кут утворений між напрямом руху розглядуваної точки леза і нормаллю до цієї точки. При певних значеннях  $\alpha$  цей кут називають кутом ковзання  $\gamma$ . В залежності від величини  $\alpha$  нахилу леза ножа процес різання буде проходити по різному. У зв'язку із цим у теорії різання лезом виділяють три види різання: нормальне, похиле (нахилене) і ковзне (рис. 1).

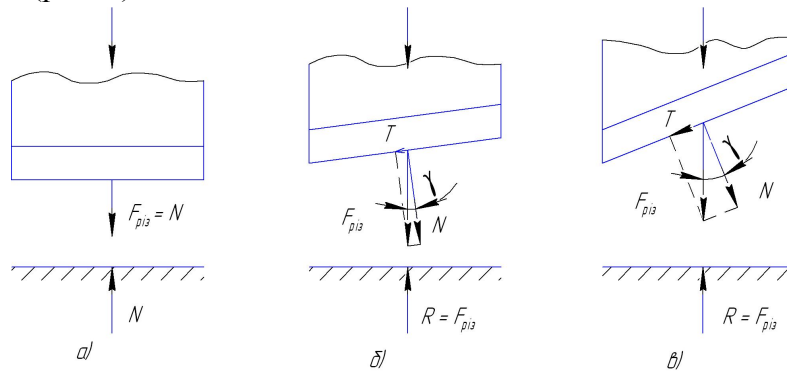


Рис. 1. Схеми видів різання лезом ножа:

а) – нормальне ( $\gamma = 0$ ); б) – похиле ( $\gamma < \varphi_1 + \varphi_2$ ); в) – ковзне ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ )

Похиле і ковзне різання (рис. 1 б, в) у порівнянні із нормальним (рис. 1, а), також відбувається під дією нормальної сили  $N$ , але уже із іншим кутом загострення  $\beta_1$  (рис. 2). У цьому випадку спостерігається зменшення необхідного питомого зусилля, що відбувається внаслідок зменшення початкового кута загострення  $\beta$ . Вперше дане явище відкрив проф. Н.Ю. Резнік, яке одержало назву кінематична трансформація (від лат. *transformation* – зміна, перетворення) кута загострення, величину якого можна знайти скориставшись формулами [6]:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}, \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{V_n}{\sqrt{V_n^2 + V_t^2}}, \quad (1)$$

де  $\beta$  – кут загострення ножа, град;

$\varepsilon$  – коефіцієнт ковзання;

$V_n$ ,  $V_t$  – відповідно нормальна і тангенціальна (дотична) складові швидкості різання, м/с.

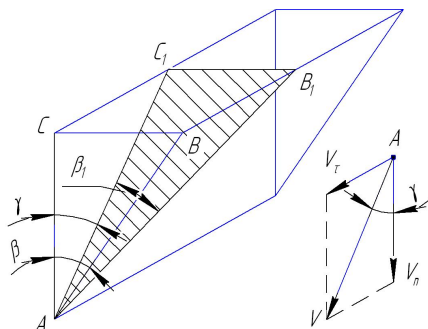


Рис. 2. Схема до визначення трансформації кута загострення ножа  $\beta_1$

Для робочого процесу різальної пари, дисковий ніж – протиризальний елемент, основне значення мають такі параметри як: нормальний тиск леза ножа на листостебловий матеріал  $N$ , бокове (дотичне) переміщення ножа  $T$  і кут загострення леза  $\beta$ . Кількісне співвідношення між цими параметрами характеризується значеннями коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$ , коефіцієнта ковзного різання  $f'$  і коефіцієнта трансформації кута загострення  $k$ .

Вперше поняття коефіцієнта ковзання ввів В.П. Горячкін [2], що являє собою відношення дотичної (тангенціальної) складової швидкості  $V_\tau$  до нормальної складової  $V_n$ .

$$\varepsilon = \frac{V_\tau}{V_n} = \operatorname{tg} \gamma. \quad (2)$$

С.В. Мельніков [7] називає відношення дотичної сили  $T$  до нормальної -  $N$  коефіцієнтом ковзаючого різання  $f'$ , який рівний тангенсу кута тертя:

$$f' = \frac{T}{N} = \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

При збільшенні коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$  збільшується і коефіцієнт ковзаючого різання  $f'$ .

Під поняттям коефіцієнт трансформації  $k$ , введений Н.Ю. Резніком, розуміють відношення різниці між дійсним кутом загострення  $\beta$  і трансформованим  $\beta_1$  до дійсного  $\beta$  [6]:

$$k = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} = \frac{\beta - \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma)}{\beta}. \quad (4)$$

Він показує, на яку долю початкового кута зменшується кут загострення від його трансформації, і дозволяє визначати величину  $k$  трансформованого кута леза.

Встановимо залежність зміни кута загострення  $\beta_1$  та коефіцієнта трансформації  $k$  плоского дискового ножа бітерно-ножового різального апарата від величини кута ковзання  $\gamma$ . Для цього розглянемо взаємодію дискового ножа і пучка листостеблової маси (рис. 3)

Приймаємо, що дисковий ніж (рис. 3, а) обертається із постійною кутовою швидкістю  $\omega_0$  навколо своєї осі  $O$  і розрізає пучок трав'яної маси. Припустимо, що в даний момент часу рівнодіюча  $R$  прикладена у точці  $A$  і для її подолання необхідно прикласти, зі сторони ножа, рівну їй і протилежно направлену (рівнодіючу) силу  $F_{\text{різ}}$ . Швидкість точки  $A$  на крайці дискового ножа  $V$  відносно перерізаючого пучка можна представити у вигляді векторної суми двох швидкостей: нормальної  $V_n$ , що направлена по нормалі до різальної крайки леза, і тангенціальної  $V_\tau$  – по дотичній до різальної крайки ножа.

$$V = \sqrt{V_n^2 + V_\tau^2}, \quad (5)$$

Із схеми видно (рис. 3, а), що кут між векторами  $V_n$  і  $V$  рівний куту ковзання  $\gamma$ .

Проведемо переріз  $A-A$  ножа площиною, яка перпендикулярна площині дискового ножа і паралельна швидкості  $V$ . В перерізі  $A-A$  одержимо клин висотою  $h_2$  з кутом  $\beta_1$  у вершині (рис. 3, а). Цей кут  $\beta_1$  і є зміненим (трансформованим) кутом загострення леза ножа. Аналогічно розглянутій схемі побудуємо схему (рис. 3, б) до визначення зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа із більшим кутом ковзання  $\gamma$ .

Встановимо закономірність зміни кута загострення  $\beta_1$  в залежності від величини кута ковзання  $\gamma$ , розглядаючи трикутники  $\triangle ABC$  і  $\triangle AB_1C_1$ , наступним чином (рис. 2):

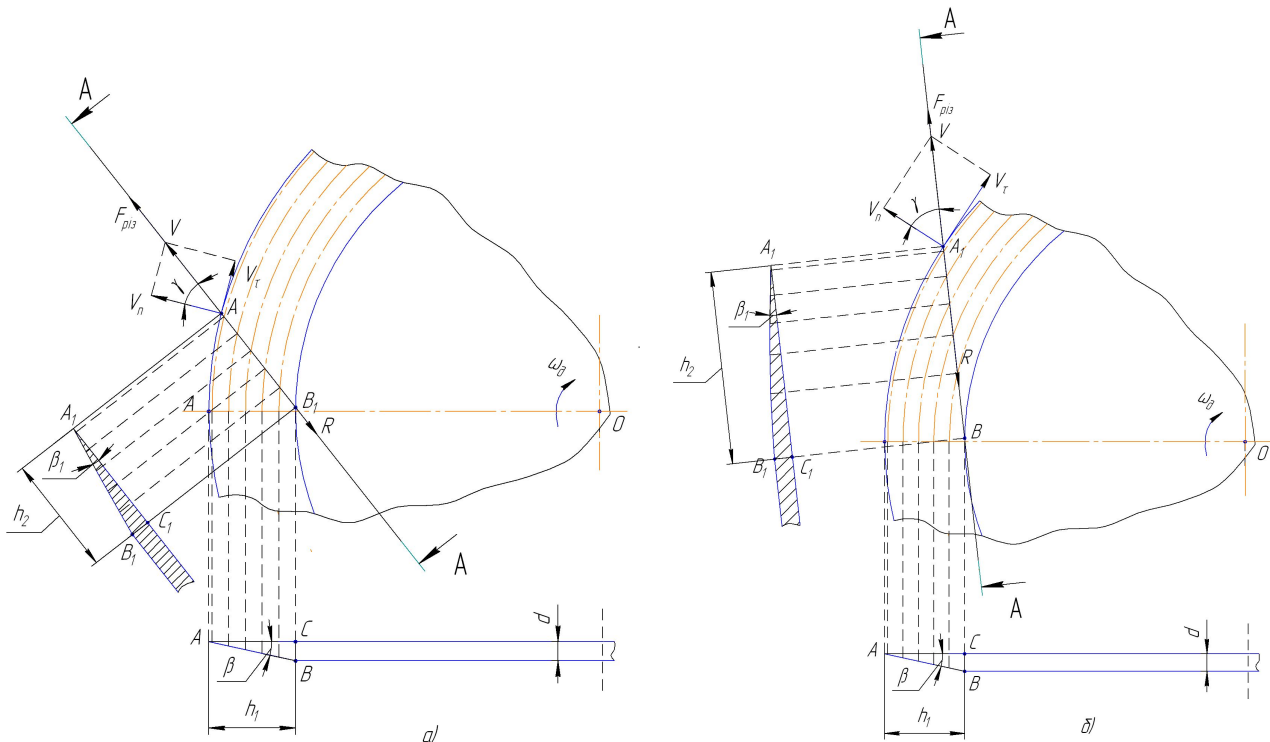
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{BC}{AC} = \frac{d}{h_1}; \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{B_1C_1}{AC_1} = \frac{BC}{AC_1} = \frac{d}{h_2}. \quad (6)$$

Оскільки,  $BC = d = h_1 \cdot \operatorname{tg} \beta$ ,  $B_1C_1 = d = h_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_1$ , а  $\cos \gamma = \frac{AC}{AC_1} = \frac{h_1}{h_2}$ ,

$$\text{Маємо, що } h_1 \cdot \operatorname{tg} \beta = h_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_1; \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{h_1}{h_2} \operatorname{tg} \beta; \operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma \quad (7)$$

$$\text{Звідки } \beta_1 = \arctg(\operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma). \quad (8)$$

Залежності зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа і коефіцієнта трансформації  $k$  від величини кута ковзання  $\gamma$  представлено на рисунку 4, 5. Характерно, що закономірність трансформації кута загострення, залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез з різним початковим кутом  $\beta$  – різна (рис. 4).



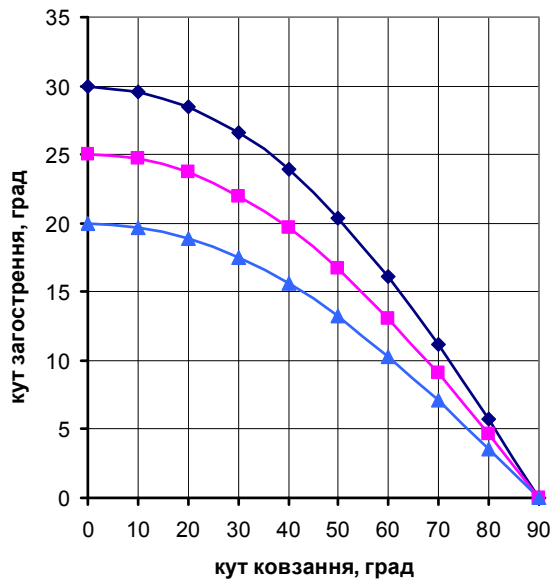
**Рис. 3. Схема до визначення трансформації кута загострення леза  $\beta_1$  дискового ножа**

Як бачимо (рис. 5), при куті ковзання  $\gamma = 30^\circ$  для ножа із початковим кутом загострення  $\beta = 20^\circ$  коефіцієнт трансформації становить  $k = 0,125$ , для  $\beta = 25^\circ$   $k = 0,124$ , і  $\beta = 30^\circ$   $k = 0,113$ . При збільшенні кута ковзання у два рази  $\gamma = 60^\circ$  коефіцієнт трансформації приймає наступні значення для  $\beta = 20^\circ$   $k = 0,485$ ; для  $\beta = 25^\circ$   $k = 0,476$  і для  $\beta = 30^\circ$   $k = 0,460$ . Тобто, при різанні пучка трав'яної маси із кутом ковзання  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа  $\beta_1$  зменшується майже у два рази.

Для дискового ножа, на відміну від пластинчатого, кут ковзання не є постійною величиною і залежить від кута повороту диска  $\theta$  [8]:

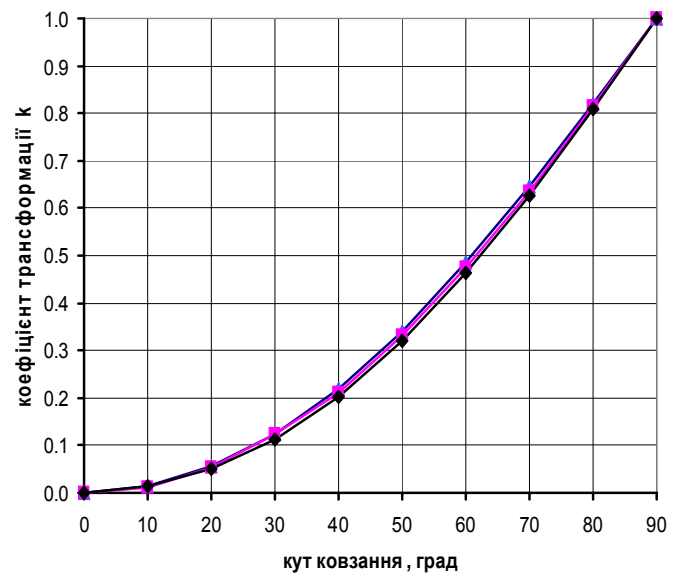
$$\gamma = \arctg\left(\frac{\varepsilon - \cos \theta}{\sin \theta}\right), \quad (9)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт ковзання.



◆ β = 30°; ■ β = 25°;  
▲ β = 20°;

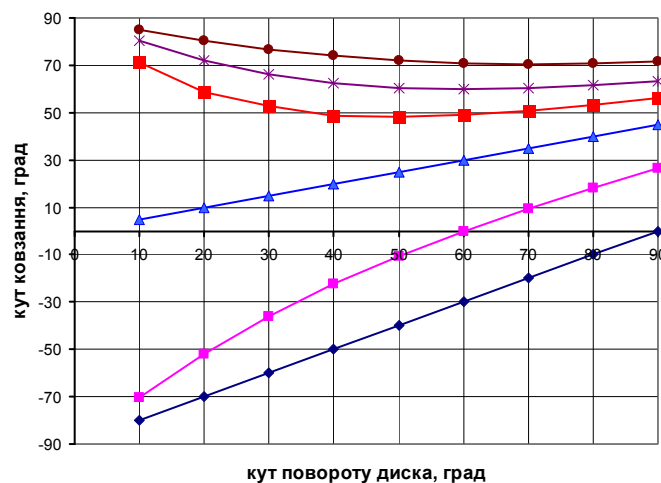
**Рис. 4. Вплив величини кута ковзання  $\gamma$  на зміну його кута загострення  $\beta_1$**



◆ β = 30°; ■ β = 25°; ▲ β = 20°;

**Рис. 5. Залежність коефіцієнта трансформації  $k$  від величини кута ковзання  $\gamma$**

Аналізуючи результати досліджень кута ковзання дискового ножа [6], можна стверджувати те, що при  $0 < \varepsilon < 1$  дисковий ніж містить ділянки леза які працюють як у режимі похилого так і ковзного різання. При  $\varepsilon = 1$  можна вважати режим роботи дискового ножа, що відповідає різанню із поздовжнім переміщенням без ковзання ( $\gamma < \varphi_1 + \varphi_2$ ). Якщо ж  $\varepsilon > 1$ , тобто значення кута ковзання більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), то має місце ковзне різання (рис. 6).



◆ ε = 0; ■ ε = 0,5; ▲ ε = 1,0; ■ ε = 1,5; \* ε = 2,0; ● ε = 3,0;

**Рис. 6. Залежність кута ковзання  $\gamma$  від кута повороту диска  $\Delta\theta$  при різних значеннях коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$**

Встановимо залежність  $\beta_1 = f(\Delta\theta)$  зміни кута загострення леза  $\beta_1$  дискового ножа від його повороту  $\Delta\theta$  відносно пучка трав'яної маси. Для цього скористаємось залежністю для визначення тангенціальної складової швидкості для дискового ножа у будь-якій точці леза [6]:

$$V_{\tau} = (\omega_{\delta} \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta, \quad (10)$$

де  $\omega_{\delta}$  - кутова швидкість обертання дискового ножа,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r_{\max}$  - максимальний радіус дискового ножа, мм;

$V_n$  - швидкість подачі матеріалу на диск, мм/с.

$\Delta\theta$  - кут повороту дискового ножа, град.

Під будь-якою точкою леза, слід розуміти ту точку, що знаходиться на відрізку  $AB_1$  (рис. 3), утвореного при перерізі площиною перпендикулярній дисковому ножу під кутом  $\gamma$  до  $V_n$  у точці  $A$ .

$$\varepsilon = \frac{V_{\tau}}{V_n} = \frac{(\omega_{\delta} \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta}{V_n}. \quad (11)$$

Таким чином формула для визначення зміненого (трансформованого) кута загострення леза диска матиме вигляд [6]:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \left[ \frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta}{V_n} \right]^2}}. \quad (12)$$

Встановимо величину зміни кута загострення трьох дискових ножів із  $\beta = 20^\circ, 25^\circ$  і  $30^\circ$ . При виконанні експериментальних досліджень бітерно-ножовий різальний апарат був налаштований наступними параметрами: радіус диск  $r_{\max} = 250$  мм, частота обертання диска  $n_{\delta} = 112$  об/хв або  $\omega_{\delta} = 11,7 \text{ с}^{-1}$  швидкість подачі матеріалу на диск  $V_n = 1100$  мм/с. Визначимо значення  $\beta_1$  при кожному повороті диска на кут  $\Delta\theta = 5^\circ$  (рис. 7).

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \left[ \frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta}{V_n} \right]^2}}. \quad (13)$$

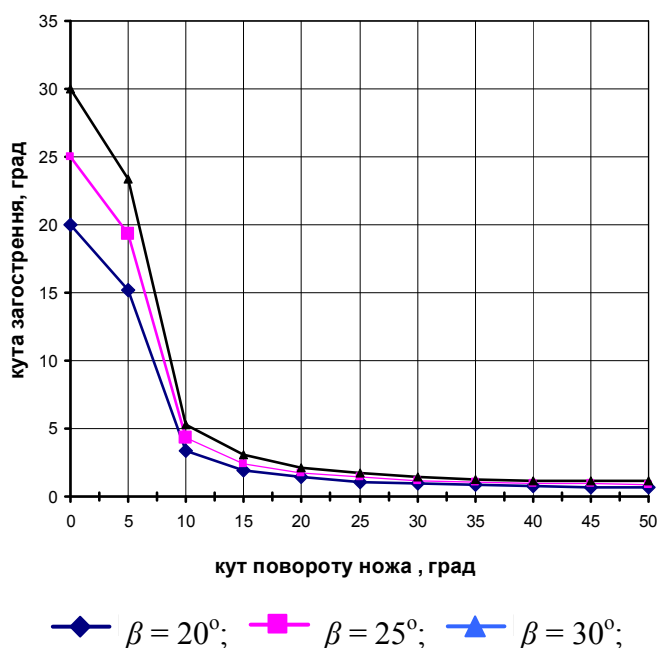


Рис. 7. Залежність зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа від його кута повороту  $\Delta\theta$

### Висновки

Проведений комплекс досліджень впливу кута загострення  $\beta$  дискового ножа у здійсненні процесу різання дозволяє сформулювати наступне:

- в залежності від величини коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$ , дисковий ніж містить ділянки леза, які працюють як у режимі нормального, похилого так і ковзного різання. Якщо  $\varepsilon > 1$  і кут ковзання більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), то має місце ковзне різання;
- закономірність зміни величини кута загострення  $\beta_1$ , залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез із різним кутом  $\beta$  – різна;
- збільшення величини кута ковзання  $\gamma$  сприяє збільшенню коефіцієнта трансформації  $k$ , який характеризує долю зменшення кута загострення від його перетворення, що має прямопропорційну залежність. При різанні пучка трав'яної маси із кутом ковзання  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа зменшується майже вдвічі (якщо  $\beta = 30^\circ$  то  $\beta_1 \approx 16^\circ$ );
- зміна величини кута загострення леза  $\beta_1$  (для  $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) інтенсивно проходить при куті повороту дискового ножа  $\Delta\theta$  від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ .

### Література

1. Холодюк О.В. Бітерно – ножовий різальний апарат та його класифікаційні ознаки // Міжвід. темат. наук. зб. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – Глеваха. ННЦ “ІМЕСГ”, - 2003. – Вип. 87. С. 174 – 180.
2. Горячкин В.П., *Собрание сочинений*, Т.3, М., “Колос”, 1965.
3. Желиговський В.А., *Экспериментальная теория резания лезвием*. Труды НИИМЭСХ, вып. 9. 1940.
4. Кузьменко В.Ф., Холодюк О.В. Показники роботи бітерно-ножового різального апарата // Між від. темат. наук. зб. *Механізація та електрифікація сільського господарства* – Глеваха, ННЦ “ІМЕСГ”. - 2011. – Вип. 95. – С. 252-258.
5. Холодюк О.В. Роль кута заземлення в різальній парі. – *Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”*, Т. XIII, К.: НАУ, 2002. – с. 280 – 283.
6. Резник Н.Е. *Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов*. М.: Машиностроение, 1975. - 311 с.
7. Мельников С.В. *Механизация и автоматизация животноводческих ферм*. – Л.: Колос. Ленингр. Отд-ние. 1978. – 560 с.
8. Сизов О.А. и др. *Об изменении действительных размеров геометрических параметров дискового ножа* // *Науч. труды / Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства*. – 1974. – Вып. 1. – Т-40. ч. 1. – С. 59-65.