

рев'яних будинків і методів їх оцінки; створення систем автоматизованого проектування елементів різних типів дерев'яних конструкцій з подальшим їхнім розрахунком.

УДК 674.053:621.935.002.54

Докторант І.Т. Ребезнюк,
канд. техн. наук – УкрДЛТУ

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОДИНИЧНОЇ ДОТИЧНОЇ СИЛИ РІЗАННЯ НА БОКОВІЙ РІЗАЛЬНІЙ КРАЙЦІ ЗУБА СТІЧКОВОЇ ПИЛКИ

Отримано залежності для визначення відносного значення одиничної дотичної сили різання бокової різальної крайки і відносного значення часток видів різання з урахуванням зміни виду різання. Установлено, що найменша одинична дотична сила різання на боковій різальній крайці буде виникати при кутах подачі $\mu = 80^\circ \dots 85^\circ$.

Doctorant I.T. Rebeznjuk – USUFWT

Theoretical research of an individual tangential force of shearing on a lateral active face of a t of a ribbon saw

Dependence for definition of relative value of a tangential force of shearing of a lateral active face and relative value of parts of aspects of shearing is received in view of change of an aspect of shearing. It is established, that the least tangential force of shearing on a lateral active face will originate at angles of supply $\mu = 80^\circ \dots 85^\circ$.

Під час пиляння стрічковими пилами відбувається закриті різання одночасно трьома різальними крайками кожного із зубів (рис. 1).

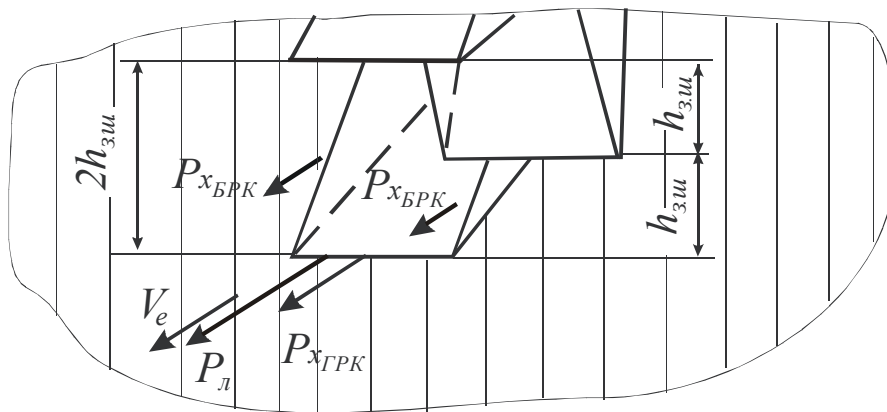


Рис. 1. Схема дії сил, що виникають на лезі під час різання

Сумарна сила різання, що діє на лезі в цілому (див. рис. 1), буде значною мірою залежати, особливо зі збільшенням товщини зрізуваного шару, від величини та характеру сил, що діють на бокових різальних крайках.

Проблемним у дослідженнях сили на боковій різальній крайці є врахування сукупності видів різання та їх силового еквіваленту.

У роботах [1, 2] частково досліджено взаємовплив видів різання на силу різання на лезі, однак без урахування особливостей орієнтації леза при складному верстатному різанні. До того ж при розпилюванні деревини стрічковою пилою з повертанням різального супорта [3] положення бокової різальної крайки зуба дещо змінюється.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження дотичної сили різання на боковій різальній крайці зуба стрічкової пилки.

Для можливості застосування результатів при різних умовах різання дослідження виконувалися для відносного значення одиничної дотичної сили різання.

Розглядали схему, коли напрямок швидкості подачі паралельний до осі колоди і до волокон (рис. 2).

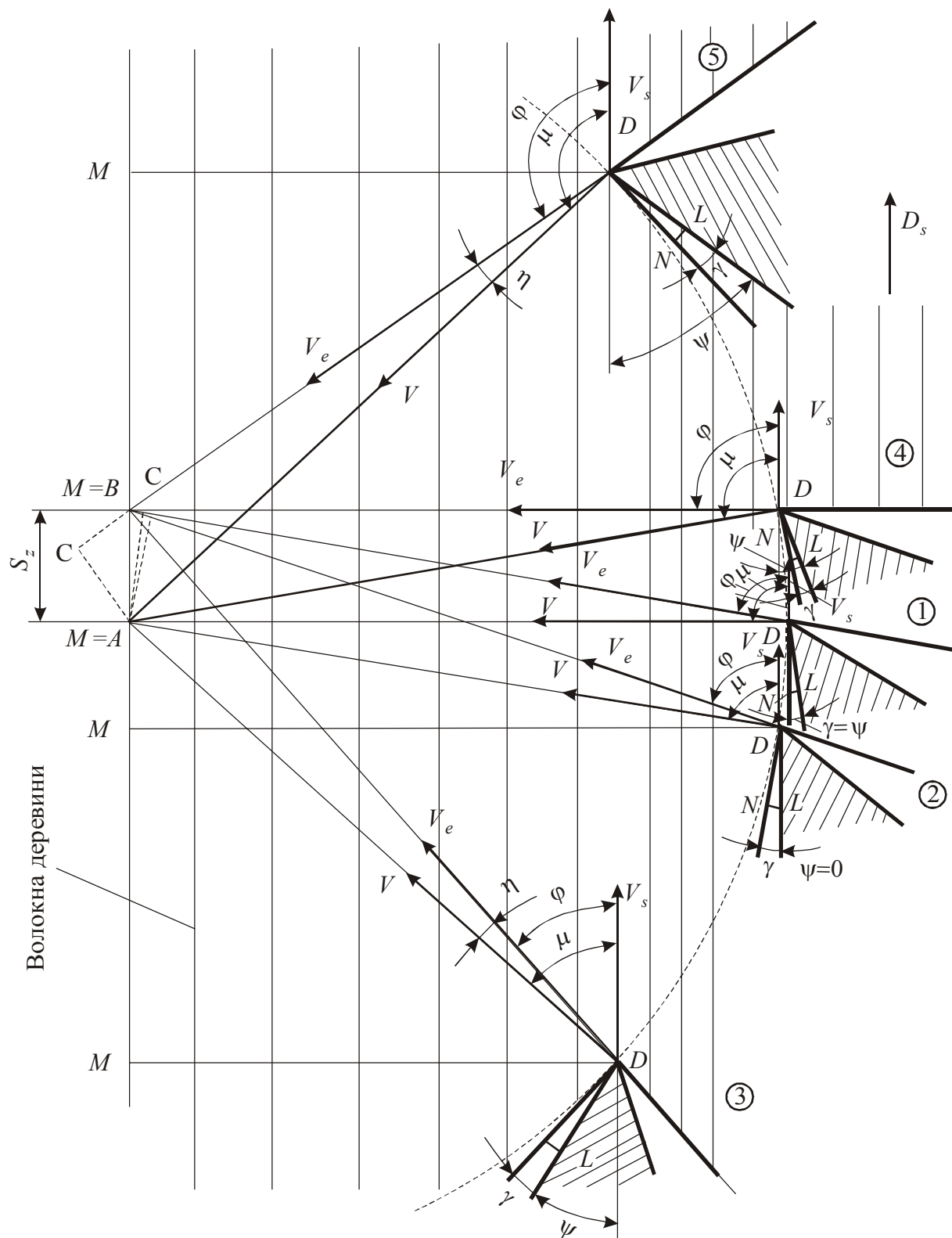


Рис. 2. Характерні позиції зубів стрічкової пилки при зміні кута подачі щодо положення бокової різальної крайки зуба відносно волокон

З рис. 2 видно, що орієнтація бокової різальної крайки зуба відносно волокон залежить як від переднього кута зуба γ , так і від кута подачі μ (кут між напрямками швидкостей руху подачі V_s і головного руху різання V). Залежно від зазначених параметрів змінюється співвідношення у поздовжньо-поперечному різанні бокової різальної крайки.

Орієнтація бокової різальної крайки відносно волокон деревини також залежить і від розведення зубів на бік. У цьому випадку бокова різальна крайка, окрім поздовжньо-поперечного різання (внаслідок наявності кута λ (рис. 3)) буде виконувати невелику частку торцевого різання, що, безумовно, позначиться на розподілі сил різання (див. рис. 1).

Тоді, згідно з [2], для відносного значення одиничної дотичної сили різання на боковій різальній крайці зуба стрічкової пилки можна записати:

$$P'_{x_{БПК1}} = 6\Delta_{\perp_{БПК}} + 2\Delta_{\parallel_{БПК}} + \Delta_{\#_{БПК}}, \quad (1)$$

де: 6, 2, 1 – відносні значення одиничної складової сили різання відповідно для торцевого, поздовжнього і поперечного видів різання; $\Delta_{\perp_{БПК}}$; $\Delta_{\parallel_{БПК}}$; $\Delta_{\#_{БПК}}$ – частки видів різання (відносно одиниці) відповідно для торцевого, поздовжнього і поперечного видів різання.

Для вирішення рівняння (1) потрібно визначити відносні значення часток видів різання для бокової різальної крайки та дослідити їх зміну.

Згідно з рис. 2, 3 видно, що бокова різальна крайка буде зорієнтована (внаслідок наявності кутових параметрів μ , γ , λ) відносно волокон деревини, як показано на рис. 3 (по відрізу KL).

Прямокутний трикутник ΔKDL – частина передньої поверхні зуба A_γ , в якому приймаємо $KL=1$. Катети KD і DL трикутника характеризують відповідно частки торцевого і поздовжньо-поперечного різання, а їх проекції на гіпотенузу KL визначають відносні частки зазначених видів різання.

Тобто, для ΔKDL можна записати:

$$KF = \Delta_{\perp_{БПК}}, \quad (2)$$

$$FL = \Delta_{\parallel_{БПК}} + \Delta_{\#_{БПК}}, \quad (3)$$

а також

$$\sin \lambda' = \frac{KD}{KL} = KD, \quad (4)$$

$$\cos \lambda' = \frac{DL}{KL} = DL. \quad (5)$$

$$\text{В } \Delta DFK \sin \lambda' = \frac{KF}{KD}. \quad (6)$$

Тоді на основі залежностей (2), (4) і (6) для частки торцевого виду різання можна записати:

$$\Delta_{\perp_{БПК}} = KD \cdot \sin \lambda' = \sin^2 \lambda'. \quad (7)$$

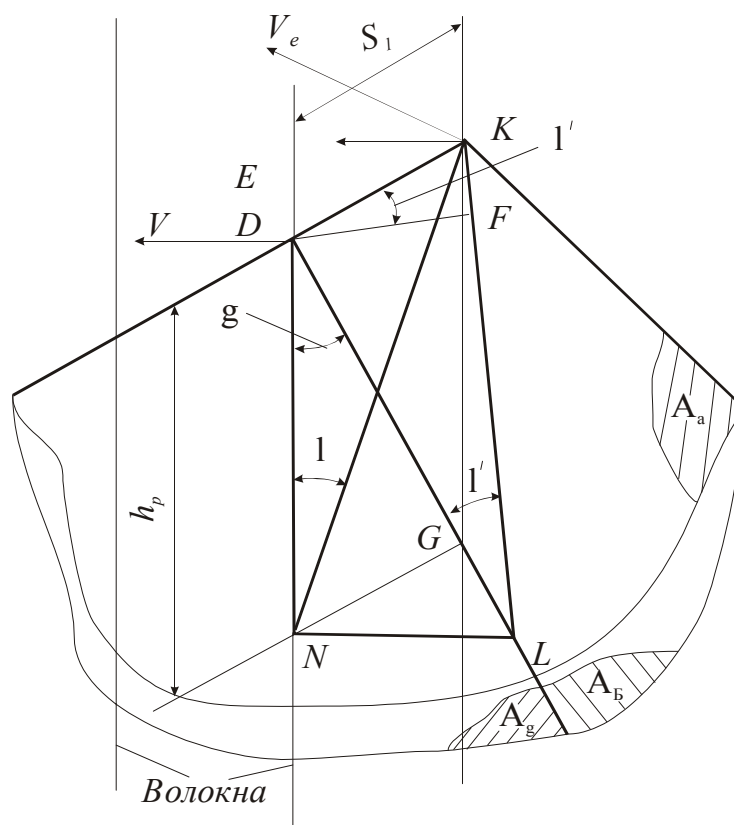


Рис. 3. Схема орієнтації бокової різальної крайки зубів пилки відносно волокон:
 A_γ – передня поверхня зуба; A_α – задня поверхня зуба; A_B – бокова поверхня зуба

В $\triangle DFL$ $\cos \lambda' = \frac{FL}{DL}$, а з урахуванням (3) і (5) можна записати

$$\Delta_{\parallel_{БРК}} + \Delta_{\perp_{БРК}} = \cos^2 \lambda' \quad (8)$$

Кут λ' визначається з рис. 3 як

$$\lambda' = \arctg \frac{KD}{DL},$$

де: $KD = S_1$ – величина відгинання зуба на бік, мм; $DL = \frac{h_p}{\cos \gamma}$ – проекція висоти відгинання h_p на передню поверхню зуба, мм.

Отже,

$$\lambda' = \arctg \frac{S_1 \cdot \cos \gamma}{h_p} \quad (9)$$

Тепер розглянемо, як розподіляються поздовжній та поперечний види різання на боковій різальній крайці.

Співвідношення зазначених видів різання на боковій різальній крайці буде залежати від наступних чинників (див. рис. 2):

- орієнтації бокової різальної крайки в інструменті через передній кут γ ;
- розміщення інструмента відносно волокон деревини, що визначається кутом подачі μ ;

- величиною подачі, яка визначає напрямок вектора абсолютної швидкості різання V_e через кут φ [4].

У традиційній схемі пиляння при $\mu = 90^\circ$ (див. рис. 2, поз.1) за умови руху зуба за стрілкою в напрямку V перпендикулярно до напрямку волокон деревини співвідношення поздовжнього і поперечного різання визначається через величину переднього кута зуба. В $\triangle DNL$ (див. рис. 3) проекції катетів NL і DN на гіпотенузу DL і є відносні частки відповідно поздовжнього та поперечного видів різання. Тобто, (див. рис. 3) можна записати

$$\Delta_{\parallel_{БРК\gamma}} = GL = NL \cdot \sin \gamma, \quad (9)$$

$$\Delta_{\perp_{БРК\gamma}} = DG = DN \cdot \cos \gamma \quad (10)$$

Якщо прийняти, що $DL=1$, тоді

$$\sin \gamma = \frac{NL}{DL} = NL,$$

$$\cos \gamma = \frac{DN}{DL} = DN.$$

Відтак, формули (10) і (11) для часток видів різання запишуться

$$\Delta_{\parallel_{БРК\gamma}} = \sin \gamma \cdot \sin \gamma = \sin^2 \gamma, \quad (12)$$

$$\Delta_{\perp_{БРК\gamma}} = \cos \gamma \cdot \cos \gamma = \cos^2 \gamma. \quad (13)$$

При різанні зубом стрічкової пилки за напрямком V_e кожна точка бокової різальної крайки додатково виконує (у певному співвідношенні) поперечне та поздовжнє різання. Це співвідношення для традиційної схеми пиляння при $\mu=90^\circ$ визначається із $\triangle DAB$ (див. рис. 3) через проекції катетів AB і AD на гіпотенузу BD

$$\Delta_{\parallel_{БРКV_e}} = BC = AB \cos \varphi,$$

$$\Delta_{\perp_{БРКV_e}} = CD = AD \sin \varphi.$$

Якщо прийняти, що $DB=1$, тоді можна записати

$$\sin \varphi = \frac{AD}{DB} = AD,$$

$$\cos \varphi = \frac{AB}{DB} = AB.$$

Формули для часток видів різання з урахуванням швидкості подачі запишуться:

$$\Delta_{\parallel_{БРКV_e}} = \cos \varphi \cdot \cos \varphi = \cos^2 \varphi, \quad (14)$$

$$\Delta_{\perp_{БРКV_e}} = \sin \varphi \cdot \sin \varphi = \sin^2 \varphi. \quad (15)$$

Сумарне співвідношення поздовжнього і поперечного видів різання для традиційної схеми пиляння ($\mu=90^\circ$) у відносних величинах визначатимуться як середнє арифметичне двох величин, що залежить від величини переднього кута γ і напрямку швидкості різання V_e :

$$\Delta_{\parallel_{БРК}} = \frac{\Delta_{\parallel_{БРК} \gamma} + \Delta_{\parallel_{БРК} V_e}}{2},$$

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \frac{\Delta_{\perp_{БРК} \gamma} + \Delta_{\perp_{БРК} V_e}}{2}.$$

Або, з урахуванням (12), (13) і (14) і (15) залежності для визначення часток видів різання запишуться:

$$\Delta_{\parallel_{БРК}} = \frac{\sin^2 \gamma + \cos^2 \varphi}{2}, \quad (16)$$

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \frac{\cos^2 \gamma + \sin^2 \varphi}{2}. \quad (17)$$

Відтак, з урахуванням розведення зубів пилки на бік на основі залежностей (7) і (8) для всіх видів різання можна записати:

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \sin^2 \lambda', \quad (18)$$

$$\Delta_{\parallel_{БРК}} = \frac{\sin^2 \gamma + \cos^2 \varphi}{2} \cos^2 \lambda', \quad (19)$$

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \frac{\cos^2 \gamma + \sin^2 \varphi}{2} \cos^2 \lambda'. \quad (20)$$

При зміні кута подачі буде змінюватись і положення бокової різальної крайки відносно волокон (рис. 2, поз. 2-5). Кут між боковою різальною крайкою і волокнами для всіх позицій буде визначатись за залежністю

$$\psi = (\mu + \gamma - 90^\circ).$$

Зі зміною кута μ зміниться за рахунок розведення зубів на бік і співвідношення видів різання. На основі рис. 2, аналогічно до наведених вище розрахунків, можна записати

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \sin^2 \lambda' \cdot \sin^2 \varphi,$$

$$\Delta_{\parallel_{БРК}} = \frac{\sin^2 \psi + \cos^2 \varphi}{2} \cos^2 \lambda' + \sin^2 \lambda' \cos^2 \varphi,$$

$$\Delta_{\perp_{БРК}} = \frac{\cos^2 \psi + \sin^2 \varphi}{2} \cos^2 \lambda'.$$

Без квадратів тригонометричних функцій залежності для визначення часток відносно одиниці для всіх видів різання матимуть вигляд

$$\Delta_{\perp} = 0,25(1 - \cos 2\lambda')(1 - \cos 2\varphi), \quad (21)$$

$$\Delta_{\parallel} = 0,125(1 + \cos 2\lambda')(2 - \cos 2(\mu + \gamma - 90^\circ) + \cos 2\varphi) + 0,25(1 - \cos 2\lambda')(1 + \cos 2\varphi). \quad (22)$$

$$\Delta_{\mu} = 0,125(1 + \cos 2\lambda')(2 + \cos 2(\mu + \gamma - 90^\circ) - \cos 2\varphi). \quad (23)$$

За залежностями (21), (22), (23) розрахунки виконувалися для всіх часток видів різання. Оскільки при різних значеннях змінних параметрів результати отримувалися майже однакові, то на рис. 4 зображено результати розрахунків для значень $S_1=0,7$ мм, $\gamma=15^\circ$.

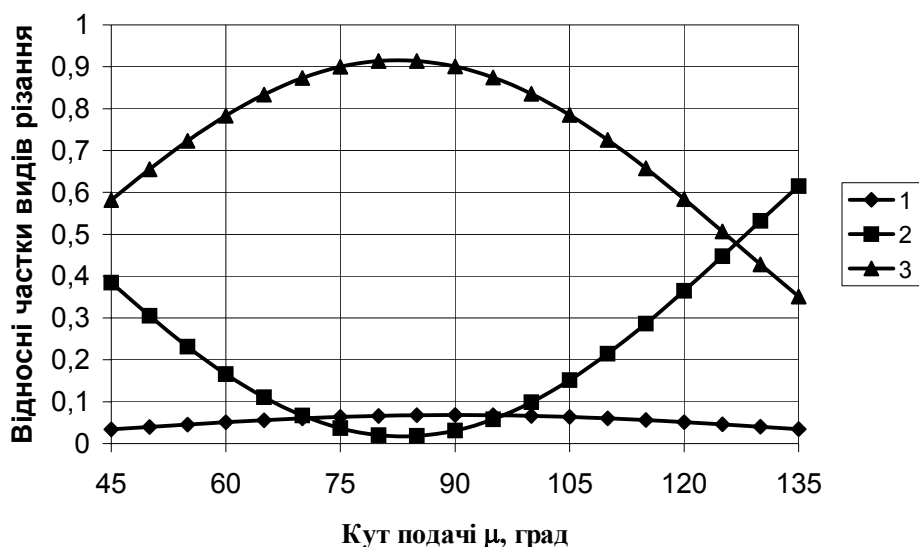


Рис. 4. Відносна зміна часток видів різання бокової різальної крайки залежно від кута подачі: 1 – торцеве різання; 2 – різання поздовж волокон; 3 – різання поперек волокон

З рис. 4 видно, що зі зміною кута подачі μ в межах від 90° до 135° збільшується поздовжній вид різання боковою різальною крайкою з одночасним зменшенням поперечного. Торцеве різання зі зміною μ у зазначених межах залишається незмінним. Зона перехідних значень для всіх видів різання лежить в межах кута подачі від 80° до 85° . Це пояснюється початковою орієнтацією бокової різальної крайки відносно волокон за рахунок переднього кута γ .

Підставивши вирази (21), (22) і (23) в залежність (1) і зробивши розрахунки для $45^\circ < \mu < 135^\circ$, отримаємо відносні значення одиничної дотичної сили, що виникає на боковій різальній крайці.

Для оцінювання величини та характеру одиничної дотичної сили різання зі зміною кута подачі визначали її зміну відносно положення при $\mu=90^\circ$. Для цього величину сили, розрахованої при кутах подачі $45^\circ \leq \mu \leq 135^\circ$ ділили на її ж значення при $\mu=90^\circ$.

Отже, загальна відносна величина одиничної дотичної сили різання бокової різальної крайки зуба стрічкової пилки для всіх значень μ визначатиметься як

$$P''_{x_{БПК_1}} = \frac{P'_{x_{БПК_1}(45^\circ \leq \mu \leq 135^\circ)}}{P'_{x_{БПК}(\mu=90^\circ)}}. \quad (24)$$

Розрахунки за формулою (24) виконували для таких параметрів процесу різання та інструмента: крок зубів $t_z=22,2$ мм, подача на зуб $S_z=0,03; 0,09; 0,15$ мм; передній кут $\gamma=8^\circ, 15^\circ$; величина розведення зубів $S_l=0,4; 0,7$ мм.

Оскільки різниця між розрахунковими значеннями $P''_{x_{БРК1}}$ при різних значеннях змінних параметрів незначна, то на рис. 5 зображено результати розрахунків для значень $S_l=0,7$ мм, $\gamma=15^\circ$.

З рис. 5 видно, що зі зміною кута подачі μ найменша одинична дотична сила різання на боковій різальній крайці буде виникати при кутах $\mu=80^\circ \dots 85^\circ$. Це зумовлено тим, що при таких значеннях кута подачі μ бокова різальна крайка буде виконувати найбільше поперечне різання, при якому сили найменші.

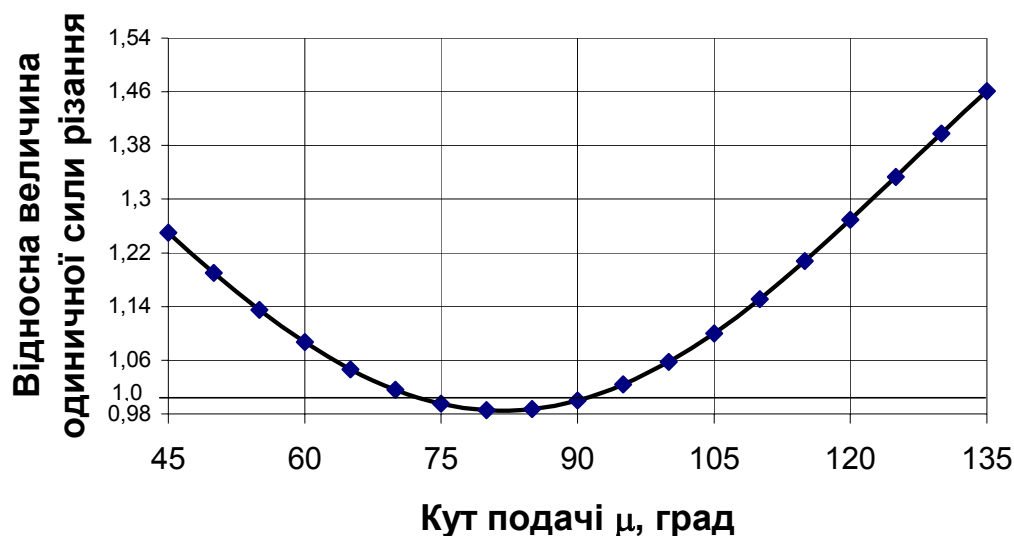


Рис. 5. Залежність відносної величини одиничної дотичної сили різання на боковій різальній крайці від кута подачі

Висновки

Отримано залежності для визначення відносного значення одиничної дотичної сили різання бокової різальної крайки і відносного значення часток видів різання з урахуванням зміни виду різання.

Установлено, що найменша одинична дотична сила різання на боковій різальній крайці буде виникати при кутах подачі $\mu=80^\circ \dots 85^\circ$.

Одержані залежності є базою для подальших досліджень і дають змогу визначити відносну зміну сумарної сили, що діє на лезі в цілому.

Література

1. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. Ч. I, приемы механической обработки дерева. Изд. КУБУЧ.: – Л., 1934.
2. Воскресенский С.А. Резание древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 199 с.
3. Ребезнюк І.Т., Пуш О.М., Наконечний І.П. Спосіб розпилювання деревини стрічковою пилкою. Деклараційний патент на винахід № 44417, В27В13/00, Бюл. № 2, 2002 р.
4. Ребезнюк І.Т. Визначення товщини зрізаного шару при пилянні на горизонтальних стрічкопилкових верстатах// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003, вип. 13.2. – С. 136-140.