



І. Т. Ребезнюк¹, Л. Ф. Дзюба², Х. І. Ліщинська³, К. Я. Лазарчук¹, С. А. Саловський¹

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна,

² Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

³ Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФОРМИ ЗУБЦЯ ПИЛОК

Встановлено, що рекомендовані в літературі величини коефіцієнта форми зубця пилок не дають змоги точно визначити коефіцієнт напруженості западини та швидкість подавання деревини, оскільки мають широкий діапазон значень. Показано, що для обчислення дійсних величин коефіцієнта форми зубця пилок за відомого кроку зубців необхідно знати площі западин, тому що неточності визначення цих площ на підставі рекомендованих у літературних джерелах величин коефіцієнта форми зубця пилок є істотними. Це підтверджено визначенням дійсних площ міжзубцевих западин за відбитками зубчастих вінців пилок. Використовуючи методи аналітичної геометрії у роботі отримано аналітичні залежності для визначення площ міжзубцевих западин та коефіцієнта форми зубця пилок, профілі зубчастих вінців яких відповідають міжнародному стандарту. На підставі геометрії зубчастого вінця пилки профілю NV із закругленою западиною та прямою задньою поверхнею розроблено формули для визначення площ міжзубцевих западин та коефіцієнтів форми зубця пилок із зубчастими вінцями профілів NU, KV, KU, PV, PU. В аналітичних залежностях враховано такі параметри зубчастого вінця: крок зубців; кутові параметри зубців (головний передній кут, головний кут загострення, головний задній кут); радіус закруглення міжзубцевої западини. Для зубчастого вінця пилки профілю KV у формулах для визначення площі міжзубцевої западини та коефіцієнта форми зубця пилок враховано зменшення площі міжзубцевої западини порівняно з площею профілю NV унаслідок наявності трикутного виступу. Для пилки із зубцями профілю PV прийнято припущення, що радіус закруглення задньої поверхні дорівнює подвоєному кроковій зубця. Зменшення площі міжзубцевої западини зубчастого вінця профілю PV порівняно з профілем NV враховано наявністю кругового сектора. Для зубчастих вінців пилок профілів NU, KU, PU збільшення площі міжзубцевих западин порівняно з площами міжзубцевих западин профілів NV, KV, PV враховано додаванням площі прямокутника, яка дорівнює добутку довжини дна западини на висоту зубця. Залежності для визначення коефіцієнта форми зубця пилок із зубчастими вінцями профілів NV, NU, KV, KU, PV, PU отримано як відношення площ міжзубцевих западин до квадрата кроку зубців. Показано, що отримані аналітичні залежності дають змогу достатньо точно визначити площі міжзубцевих западин та коефіцієнт форми зубця пилок.

Ключові слова: пилка; зубчастий вінець; профіль зубчастого вінця; площа міжзубцевої западини.

Вступ / Introduction

Розроблення раціональних режимів різання та обґрунтоване вибирання профілю зубців пилок дає змогу збільшити довговічність дереворізального інструмента та підвищити точність розпилювання. Від точності розпилювання деревини на сучасному деревообробному виробництві залежить якість готових виробів та ефективність використання деревини [1].

Розпилювання деревини є закритим видом різання багатолезовим інструментом. Головною умовою такого виду різання є те, що зрізана стружка має поміститися в

міжзубцеву западину та вільно переміщуватися у пропилі. Умови роботи міжзубцевої западини оцінюють коефіцієнтом напруженості западини, який залежить від коефіцієнта форми зубця пилок. На сьогодні, за даними літературних джерел, для пилок з різними профілями зубчастих вінців значення коефіцієнта форми зубця пилок містяться в широкому діапазоні. Це не дає змоги точно визначити коефіцієнт напруженості западини, за яким вибирають потрібну швидкість подавання під час розпилювання деревини. Тому встановлення аналітичних залежностей для коефіцієнта форми зубця пилок поширених профілів є актуальним завданням.

Інформація про авторів:

Ребезнюк Ігор Тарасович, д-р техн. наук, професор, директор Інституту інженерної механіки, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Email: rebeznyuk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5924-7700>

Дзюба Лідія Федорівна, д-р техн. наук, доцент, кафедра прикладної математики і механіки. Email: lidadz111@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4261-6490>

Ліщинська Христина Іванівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра інженерної механіки (озброєння та техніки інженерних військ). Email: k_lichch@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-0084-6351>

Лазарчук Катерина Ярославівна, аспірант, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Email: k.lazarchuk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3082-6017>

Саловський Степан Андрійович, аспірант, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Email: s.salovskij@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-2650-2004>

Цитування за ДСТУ: Ребезнюк І. Т., Дзюба Л. Ф., Ліщинська Х. І., Лазарчук К. Я., Саловський С. А. Аналітичне визначення коефіцієнта форми зубця пилок. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 4. С. 114–119.

Citation APA: Rebeznyuk, I. T., Dzyuba, L. F., Lishchynska, Kh. I., Lazarchuk, K. Ya., & Salovskiy, S. A. (2021). Analytical dependencies of saw tooth shape coefficient. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(4), 114–119. <https://doi.org/10.36930/40310419>

Об'єкт дослідження – профілі зубчастих вінців стрічкових, дискових і рамних пилок.

Предмет дослідження – геометричні параметри міжзубцевих западин зубчастих вінців пилок.

Мета роботи – отримання аналітичних залежностей коефіцієнта форми зубця пилок від геометричних параметрів поширених профілів зубчастих вінців, що дасть змогу точніше обчислювати коефіцієнт напруженості западини та швидкість подавання деревини за умови допустимого заповнювання стружкою міжзубцевої западини.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Визначити похибки в обчисленнях площ міжзубцевих западин за значеннями коефіцієнта форми зубця пилок θ , які рекомендовані в літературних джерелах. Для цього порівняти значення площ западин, визначених аналітично за рекомендованими значеннями θ та практично за відбитками профілів зубчастих вінців.
2. Розробити аналітичні залежності коефіцієнта форми зубця пилок будь-якого профілю від основних параметрів зубчастого вінця, якими є крок та кутові параметри зубців.
3. Для підтвердження правильності отриманих аналітичних залежностей порівняти значення площ западин, обчислених за залежностями та визначених практично за відбитками зубчастих вінців.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – уперше розроблено аналітичні залежності коефіцієнта форми зубця пилок від їхнього кроку та кутових параметрів для профілів зубчастих вінців NV, NU, KV, KU, PV, PU.

Практична значущість результатів дослідження – значення коефіцієнта форми зубця пилок поширених профілів, отримане за розробленими аналітичними залежностями, дасть змогу точніше визначити коефіцієнт напруженості западини та вибирати потрібну швидкість подавання під час розпилювання деревини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Приклади основних профілів зубців сучасних стрічкових пилок показано в роботі [7]. Поширені профілі зубчастих вінців пилок рекомендовано європейським стандартом [6]. Відповідно до цього стандарту для стрічкових, рамних та круглих пилок прийнято два основні профілі зубчастих вінців: профіль V із закругленою западиною та профіль U з подовженою западиною. Задні поверхні зубців кожного з цих профілів можуть бути описані лініями: прямою NV та NU, ламаною KV та KU або кривою PV та PU [4]. Значення коефіцієнтів форми зубця пилок для пилок зазначених профілів наведено в [2, 4]. За даними цих робіт коефіцієнт форми зубця пилок θ для стандартних профілів зубців пилок міститься в межах 0,12...0,6 та, залежно від виду пилки, набуває таких значень: для рамної пилки з розведеними зубцями – $\theta = 0,4...0,5$; для рамної пилки із плющеними зубцями – $\theta = 0,5$; для дискової пилки для подовженого пиляння – $\theta = 0,25...0,35$; для дискової пилки для поперечного пиляння – $\theta = 0,35...0,6$; для стрічкової ділильної (широкої) пилки – $\theta = 0,12...0,15$; для стрічкової столярної пилки – $\theta = 0,25...0,3$. Отже, значення коефіцієнтів форми зубця пилок містяться в досить широких діапазонах, що не дає змоги точно визначити коефіцієнт напруженості западини та обчислити швидкість подавання під

час пиляння деревини. Відповідно до [9], швидкість, а відтак і точність подавання є визначальними чинниками впливу на якість пиляння.

У сучасному деревообробному виробництві також використовують пилки з іншими профілями зубчастих вінців [3, 5, 7, 8]. У роботі [8] досліджено вплив конструкційних параметрів круглої пилки з комбінуванням зубців профілів FZ/2WZ на точність подовженого пиляння деревини. У роботі [9] зазначено, що правильний вибір конструкції дискової пилки та профілю її зубців дасть змогу значно подовжити термін служби інструмента, скоротити простої технологічного обладнання та зменшити затрати на підготовлення пилок до роботи. У роботі [5] за визначеною планіметром площею міжзубцевої западини на відбитках зубців стрічкової пилки фірми Wood-Mizer встановлено величину коефіцієнта форми зубця пилок – $\theta = 0,2$. Однак для зубців інших профілів значення коефіцієнта форми зубця пилок не уточнено.

Матеріали та методи дослідження. Для отримання аналітичних залежностей коефіцієнта форми зубця пилок використано геометричні параметри зубчастих вінців пилок для різання деревини, профілі яких відповідають міжнародному стандарту. У дослідженні використано методи аналітичної геометрії та теорії різання деревини.

За даними вітчизняного виробника стрічкових пилок (компанія "Техноліс"), для виготовлення стрічкових пилок марки "ForteH" використовують середньо вуглецеву (0,3-0,7 % вуглецю) інструментальну сталь – леговану або без легувальних домішок. Марки сталі, які застосовують для виготовлення стрічкових пилок відповідно до європейських норм: D6A – легувальні елементи Ni, Cr, Mo, V (твердість 44-47HRC); 50 Cr V4 – легувальні елементи Cr, V (твердість 43-45HRC); 75 Cr – легувальні елементи Cr (твердість 43-45HRC); C75 – вуглецева сталь (твердість 42-44HRC).

Відповідно до [1], для виготовлення стрічкових пилок інших марок застосовують вуглецеві сталі із вмістом вуглецю: 0,70-0,75 % (марки пилок "Pilana", "Гедумекс", "Forezzien Simonds", "Banso"), 0,45 % (марки пилок "WoodMizer", "Bahco Bisov"), сталь, леговану нікелем з вмістом вуглецю 0,75 % застосовують для виготовлення стрічкових пилок марки "Uddeholm".

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Для розрахунку швидкості подавання деревини за умови допустимого заповнення міжзубцевої западини стрічкових, рамних і круглих пилок використовують коефіцієнт напруженості западини, який обчислюють за формулою

$$\sigma = \frac{s \cdot \theta \cdot t_3^2}{b_{\text{пр}} \cdot S_z \cdot h_{\text{пр}}},$$

де: s – товщина полотна пилки, мм; θ – коефіцієнт форми зубця пилок; t_3 – крок зубців, мм; $b_{\text{пр}}$ – ширина пропилу, мм; S_z – подача на зубець, мм; $h_{\text{пр}}$ – висота пропилу, мм. Саме ж значення коефіцієнта форми зубця пилок θ пов'язане із площею западини зубчастого вінця через квадрат кроку зубців t_3 :

$$\theta = \frac{A}{t_3^2}.$$

Оскільки в довідниковій літературі наведено широкі межі зміни величин θ для зубчастих вінців пилок різних профілів, то виникає потреба уточнення цих значень. Для обчислення дійсних значень коефіцієнта форми зубця пилок θ за відомого кроку зубців необхідно знати

площі западин. Для цього автори зробили відбитки зубчастих вінців пилок найпоширеніших марок на міліметровому папері. За сумою квадратів зі стороною 1 мм, що заповнюють міжзубцеву западину, обчислено дійсні площі міжзубцевих западин (табл. 1).

Табл. 1. Значення площ міжзубцевих западин пилок / The value of the areas of the interteeth cavities of saws

Рекомендовані значення коефіцієнта θ літературі	Обчислені за формулою $A = \theta t_3^2$ площі западин відповідно до рекомендованих значень θ , мм ²	Виміряні за відбитками площі западин, мм ²	Розбіжність між значеннями площ Δ_1 , %
Стрічкова столярна пила (профіль NV)			
0,12-0,15	12-15	35	57-66
Стрічкова ділильна пила (профіль NV)			
0,25-0,3	156-188	171	9-10
Стрічкова колодопиляльна вузька пила (профіль WM)			
0,3-0,4	108-144	87	24-66

За зробленими відбитками профілів зубчастих вінців також можна визначити їх геометричні параметри. Наприклад, рекомендоване значення коефіцієнта форми зубця для стрічкової столярної пилки профілю NV перебуває в межах $\theta = 0,12 \dots 0,15$. Визначений з відбитків крок зубця дорівнює $t_3 = 10$ мм. Усереднена за декількома відбитками профілю площа міжзубцевої западини становить 35 мм². Обчислена площа з використанням рекомендованого значення коефіцієнта форми зубця пилок потрапляє в діапазон значень від 12 до 15 мм². Розбіжність між значеннями обчисленої та виміряної за відбитками площ сягає $57-66$ %.' Аналогічні розрахунки та порівняння значень площ виконано для стрічкової ділильної профілю NV та стрічкової колодопиляльної вузької профілю WM пилок (див. табл. 1). Отримані розбіжності становлять відповідно $9-10$ % та $24-66$ %.

Отже, зважаючи на великі розбіжності між обчисленими за рекомендованими значеннями θ та визначеними практично площами, доцільно отримати аналітичні залежності для визначення площ міжзубцевих западин і коефіцієнтів форми зубця пилок різних профілів їхніх вінців.

У зубців із прямою задньою поверхнею профілю NV площа поперечного перерізу від вершини до основи швидко зменшується за лінійною залежністю, що знижує згинальну жорсткість зубців. Для розрахунку площі міжзубцевої западини пилки з цим профілем зубців розділимо її на складники так, як показано на розрахунковій схемі (рис. 1). В аналітичних залежностях доцільно враховувати такі параметри зубчастого вінця: t_3 – крок зубців; кутові параметри зубців: головний передній кут γ , головний кут загострення β та головний задній кут α , який дорівнює $\alpha = 90^\circ - \gamma - \beta$. З розрахункової схеми площу трикутника ABC визначаємо як половину площі паралелограма $ABGC$:

$$A_{ABC} = \frac{1}{2} \cdot t_3^2 \cdot \frac{\cos \gamma \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} \quad (1)$$

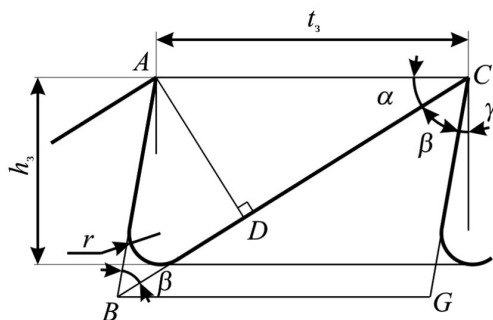


Рис. 1. Розрахункова схема міжзубцевої западини пилки із профілем зубців NV / Calculation scheme of the interteeth cavity of the saw with the profile of the teeth NV

Однак до міжзубцевої западини не належить складник BEF (рис. 2), площа якого дорівнює різниці площ чотирикутника $BEKF$ та сектора EKF .

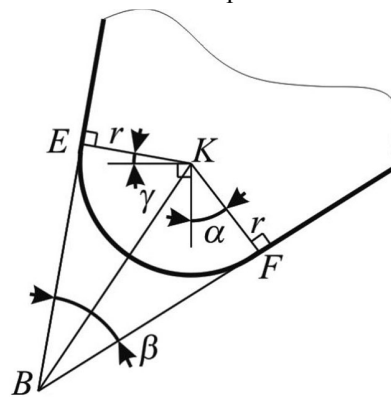


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення площі складника за межами западини / Calculation scheme for determining the area of the component outside the cavity

Ураховуючи, що радіус сектора EKF дорівнює радіусу закруглення міжзубцевої западини r , отримуємо площу вилученого складника BEF :

$$A_{BEF} = r^2 \cdot \left(\text{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi\beta}{360} \right) \quad (2)$$

На підставі (1) та (2) формула для площі міжзубцевої западини зубчастого вінця профілю NV набуде такого вигляду:

$$A_{NV} = t_3^2 \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - r^2 \cdot \left(\text{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi\beta}{360} \right) \quad (3)$$

Якщо вираз (3) розділити на квадрат кроку зубців, то отримаємо аналітичну залежність коефіцієнта форми зубця пилок профілю NV від параметрів зубчастого вінця стрічкової пилки:

$$\theta_{NV} = \frac{\cos \gamma \cdot \sin \alpha}{2 \sin \beta} - \frac{r^2}{t_3^2} \cdot \left(\text{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi\beta}{360} \right) \quad (4)$$

Для стрічкової пилки із зубцями профілю NV, коли крок зубців дорівнює $t_3 = 22,22$ мм, радіус закруглення западини – $r = 0,2t_3 = 4,44$ мм, кути профілю – $\gamma = 8^\circ$, $\beta = 54^\circ$, коефіцієнт форми зубця пилок дорівнює $\theta = 0,198$. Такі параметри зубчастого вінця узгоджуються з параметрами зубчастого профілю WM фірми Wood-Mizer. Розбіжність між розрахованим значенням коефіцієнта θ та визначеним у роботі [5] вимірюванням за відбитками становить 1 %. Отже, на підставі залежності (4) можна отримати формули для обчислення площ та коефіцієнтів форми зубців інших профілів. Тому далі формули для площ міжзубцевих западин пилок

із зубцями профілів KV та PV отримано з використанням профілю NV.

У зубців з ламаною задньою поверхнею профілю KV (рис. 3,а) згинальна жорсткість більша, оскільки біля основи зубців збільшена довжина прямокутного поперечного перерізу, а відтак, і осьовий момент інерції перерізу. Зубці з криволінійною задньою поверхнею профілю PV (див. рис. 3,б) мають найбільшу згинальну жорсткість у поперечному напрямку унаслідок найбільшого, порівняно з іншими профілями, поперечного перерізу. З рис. 3 видно, що для обчислювання площ міжзубцевих западин пилок з зубцями профілів KV та PV потрібно від площі міжзубцевої западини профілю NV відняти: для профілю KV (див. рис. 3,а) – площу трикутника GKC ; для профілю PV (див. рис. 3,б) – площу сегмента HC .

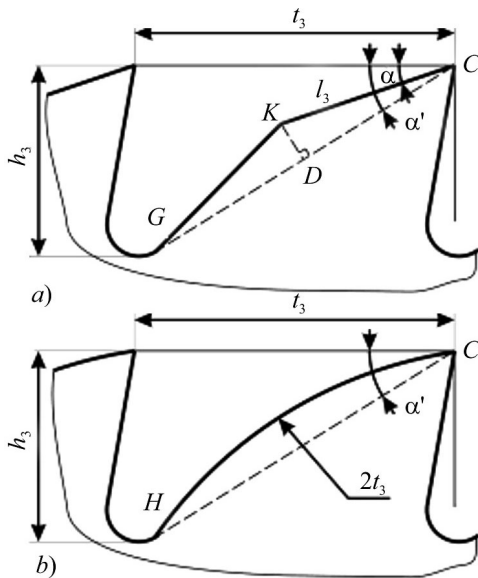


Рис. 3. Розрахункові схеми для визначення площ міжзубцевих закруглених западин пилок / Calculation schemes for determining the areas of rounded interteeth cavities of saws: а) форма зубця профілю KV / the shape of the tooth profile KV; б) форма зубця профілю PV / the shape of the tooth profile PV

Для пилки з зубцями профілю KV приймаємо припущення, що трикутники GKD і KDC однакові (рис. 3,а). Позначивши відстань KC як довжину зуба l_3 (див. рис. 3,а), яка становить $l_3 = \frac{t_3}{2 \cos \alpha' \cos(\alpha' - \alpha)}$, маємо для площі трикутника GKC :

$$A_{\Delta GKC} = l_3^2 \frac{\operatorname{tg}(\alpha' - \alpha)}{4 \cos^2 \alpha'}, \quad (5)$$

де α' – кут між лінією вершин лез зубців і лінією, що з'єднує точку вершини леза з точкою на лінії дна западини. З використанням (3) вираз для площі западини зубчастого вінця профілю KV такий:

$$A_{KV} = A_{NV} - A_{\Delta GKC} = t_3^2 \left(\frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\operatorname{tg}(\alpha' - \alpha)}{4 \cos^2 \alpha'} \right) - r^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360^\circ} \right). \quad (6)$$

Тоді на підставі (6) аналітична залежність коефіцієнта форми зубця пилок профілю KV набуває такого вигляду:

$$\theta_{KV} = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\operatorname{tg}(\alpha' - \alpha)}{4 \cos^2 \alpha'} - \frac{r^2}{t_3^2} \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360^\circ} \right). \quad (7)$$

Для пилки із зубцями профілю PV припускаємо, що радіус закруглення задньої поверхні дорівнює подвоєному кроку зубця (див. рис. 3,б). Тоді площа сегмента HC дорівнює:

$$A_{HC} = t_3^2 \left(\frac{\pi}{45^\circ} \alpha' - 2 \cdot \sin 2\alpha' \right). \quad (8)$$

З використанням (3) та (8) вираз для площі западини зубчастого вінця профілю PV такий:

$$A_{PV} = A_{NV} - A_{HC} = t_3^2 \left(\frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\pi}{45^\circ} \alpha' + 2 \cdot \sin 2\alpha' \right) - r^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360^\circ} \right). \quad (9)$$

Ураховуючи (9), отримуємо аналітичну залежність коефіцієнта форми зубця пилок профілю PV:

$$\theta_{PV} = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\pi}{45^\circ} \alpha' + 2 \cdot \sin 2\alpha' - \frac{r^2}{t_3^2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360^\circ} \right). \quad (10)$$

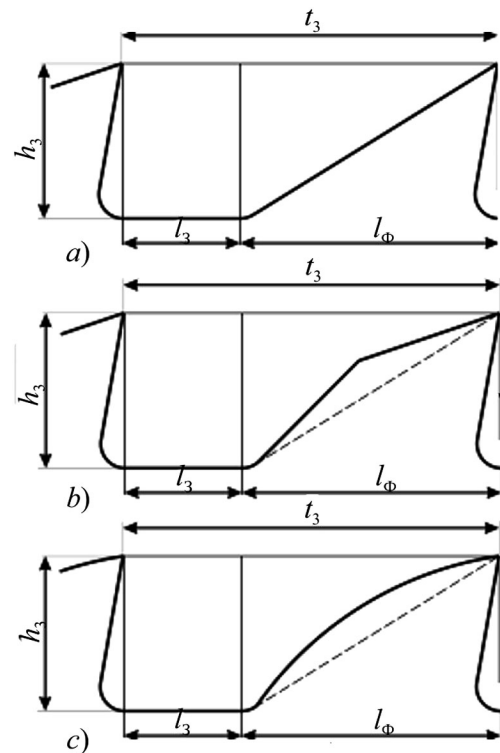


Рис. 4. Розрахункові схеми для визначення площ подовжених міжзубцевих западин пилок / Calculation schemes for determining the areas of elongated interteeth cavities of saws: а) форма зубця профілю NU / the shape of the tooth profile NU; б) форма зубця профілю KU / the shape of the tooth profile KU; в) форма зубця профілю PU / the shape of the tooth profile PU

Визначення площ міжзубцевих западин пилок із зубцями профілів NU, KU та PU (рис. 4) виконано також на підставі залежності (3) для профілю NV з урахуванням формул (6) та (9) для профілів KV та PV. Для обчислювання площ міжзубцевих западин зубчастих вінців профілів NU, KU, PU до площ міжзубцевих западин профілів NV, KV та PV потрібно додати площу прямокутника, яка дорівнює

$$A_{np} = l_d \cdot h_3, \quad (11)$$

де: l_d – довжина дна западини, h_3 – висота зубця. З урахуванням (11) у (3), (6), (9) отримуємо вирази для площ міжзубцевих западин зубчастих вінців:

- для профілю NU (рис. 4,a):

$$A_{NU} = t_3^2 \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - r^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + l_n \cdot h_3; \quad (12)$$

- для профілю KU (див. рис. 4,b):

$$A_{KU} = t_3^2 \left(\frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\operatorname{tg}(\alpha' - \alpha)}{4 \cos^2 \alpha'} \right) - r^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + l_n \cdot h_3; \quad (13)$$

- для профілю PU (див. рис. 4,c):

$$A_{PU} = t_3^2 \left(\frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\pi}{45} \alpha' + 2 \cdot \sin 2\alpha' \right) - r^2 \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + l_n \cdot h_3. \quad (14)$$

Розділивши вирази (12)–(14) на квадрат кроку зубців, отримаємо аналітичні залежності коефіцієнта форми зубця пилок:

- для профілю NU:

$$\theta_{NU} = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{r^2}{t_3^2} \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + \frac{l_n \cdot h_3}{t_3^2}; \quad (15)$$

- для профілю KU:

$$\theta_{KU} = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\operatorname{tg}(\alpha' - \alpha)}{4 \cos^2 \alpha'} - \frac{r^2}{t_3^2} \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + \frac{l_n \cdot h_3}{t_3^2}; \quad (16)$$

- для профілю PU (профілю WM):

$$\theta_{PU} = \frac{\sin \alpha \cos \gamma}{2 \sin \beta} - \frac{\pi}{45} \alpha' + 2 \cdot \sin 2\alpha' - \frac{r^2}{t_3^2} \cdot \left(\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \beta}{360} \right) + \frac{l_n \cdot h_3}{t_3^2}. \quad (17)$$

Отримані аналітичні залежності (3), (6), (9), (12)–(14) дають змогу визначати площі міжзубцевих западин, залежності (4), (7), (10), (14)–(16) – коефіцієнт форми зубця пилок з поширеними стандартними профілями зубчастих вінців з урахуванням кроку та кутових параметрів зубців.

Табл. 2. Порівняння площ міжзубцевих западин, виміряних за відбитками та обчислених за аналітичними залежностями / Comparison of the areas of interteeth cavities measured by impressions and calculated by analytical dependencies

Виміряні за відбитками площі западин, м ²	Обчислені площі западин за аналітичною залежністю, мм ²	Розбіжність між значеннями площ: виміряною за відбитками та визначеною за аналітичною залежністю Δ ₂ , %
Стрічкова столярна пилака (профіль NV)		
35	33	6
Стрічкова ділильна пилака (профіль NV)		
171	159	7
Стрічкова колодопиляльна вузька пилака (профіль WM)		
87	84	3

Обговорення результатів дослідження. Визначені за отриманими залежностями площі міжзубцевих западин пилок деяких профілів подано в табл. 2. Для цих профілів площі міжзубцевих западин обчислено також за допомогою відбитків та з використанням коефіцієнтів форми зубця пилок θ , що їх подано в літературі (див. табл. 1).

Розбіжність між значеннями площ, виміряних за відбитками та обчислених за наведеними аналітичними за-

лежностями, становить 3-7 %. Отже, щоб розраховувати коефіцієнти напруженості міжзубцевої западини та швидкості подавання, доцільно використовувати отримані аналітичні залежності для визначення коефіцієнта форми зубця пилок.

Висновки / Conclusions

1. Установлено, що рекомендовані в літературі значення коефіцієнта форми зубця пилок θ дають змогу обчислювати площу міжзубцевої западини пилок, а відтак, в остаточному підсумку, швидкість подавання, з похибкою до 66 %.
2. Встановлено, що для підвищення точності розрахунку коефіцієнта напруженості западини та швидкості подавання доцільно використовувати розроблені аналітичні залежності коефіцієнта форми зубця пилок від кроку зубців та їхніх кутових параметрів для профілів NV, NU, KV, KU, PV, PU.
3. З'ясовано, що розбіжність між значеннями площ, виміряних за відбитками зубчастих вінців та визначених за отриманими аналітичними залежностями, становить 3-7 %.

References

1. Blokhin, A. V., & Kiselev, S. V. (2011). Statistical analysis of the results of the study of residual stresses on the fatigue characteristics of band saws for sawing wood. *Timber and woodworking industry: proceedings of BSTU*, 2, 295–297. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sily-predvaritel'nogo-natyazheniya-lentochnoy-pily>. [In Belarus].
2. Kirik, M. D. (Ed.), (2006). Mechanical treatment of wood and wood materials. Textbook [for students of higher educational institutions]. Lviv: Kol'orove nebo. [In Ukrainian].
3. Lukash, V. T., & Grinevich, S. A. (2011). Influence of a profile of the teeth of circular saw blades with carbide plates on the technological resistance and power consumption when processing laminated particle boards (LDSP). *Timber and woodworking industry: proceedings of BSTU*, 2, 256–262. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-vnedreniya-ratsionalnyh-rezhimov-pileniya-pri-raskroe-laminirovannyh-drevesnostruzhechnyh-plitiv-zao-holdingovaya-kompaniya>. [In Belarus].
4. Rebeznyuk, I. T. (Ed.), (2005). *Preparation of narrow band saws to work*. Monograph. Lviv: Kol'orove nebo. [In Ukrainian].
5. Shostak, V. V., Puna, V. V., & Atsberpher, Y. L. (2008). Feed rate in the case of filling the interdental depths of the saw with sawdust, for horizontal band saws. *Forestry, forestry, paper and woodworking industry: interdepartmental scientific and technical magazine*, 34, 159–163. Retrieved from: <http://forestwoodworking.nltu.lviv.ua/uk/arhiv-meriv/>. [In Ukrainian].
6. Standard ISO 7294–1983. (1983). *Saw teeth for woodworking saws – Profile shape – Terminology and designation*. Retrieved from: <https://www.iso.org/ru/standard/13953.html>
7. Sysala, T., Stuchlik, K., & Neuman, P. (2019). System for Automatic Inspection of Bandsaw Blades. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 15, 500–509. Retrieved from: <https://www.wseas.org/multimedia/journals/environment/2019/b065115-069.pdf>.
8. Taras, V. I., Pylypchuk, M. I., Salovsky, S. A., & Lisak, A. V. (2018). Substantiation of designing parameters of the round saw with combined crown gear. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 101–107. <https://doi.org/10.15421/40281021>
9. Thunell, B. (1970). Stability of the BandSawBlade. *Holzols Roh- undwerkstoff*, 9, 343–348. Retrieved from: <http://tekhnosfera.com/razrabotka-konstruktsii-i-obosnovanie-parametrov-malogabaritnogo-lentochnopilnogo-stanka-dlya-raspilovki-lesomaterialov>.

ANALYTICAL DEPENDENCIES OF SAW TOOTH SHAPE COEFFICIENT

The paper presents the results of the study of analytical dependencies of saw tooth shape coefficient. In the course of research we have revealed that the values of saw tooth shape coefficient, recommended in the literature, do not allow to accurately determine the coefficient of tension of the cavity and the feed speed of wood, as they have a wide range of values. To calculate the actual values of the saw tooth shape coefficient for a known pitch of the teeth, it is necessary to know the areas of cavities, because inaccuracies in determining these areas on the basis of recommended in the literature values of the tooth shape coefficient are significant. This is confirmed by determining the actual areas of the interteeth cavities from the impressions of the toothed crowns of saws. Using the methods of analytical geometry, the analytical dependences of the areas of interteeth cavities and the tooth shape coefficient of saws, the profiles of the toothed crowns of which correspond to the international standard, are obtained. Furthermore, based on the geometry of the toothed crown of the saw with NV profile with a rounded cavity and a straight back surface, the formulas of the areas of the interteeth cavities and coefficients of the saw tooth with the toothed crowns of the NU, KV, KU, PV, PU profiles were developed. The following parameters of the toothed crown are taken into account in the analytical dependences: pitch of teeth; angular parameters of teeth: the main front angle, the main angle of sharpening, the main back angle; radius of rounding of the interteeth cavity. For the toothed crown of the KV saw profile in the formulas of the area of the interteeth cavity and the coefficient of the shape of a tooth the decrease in the area of the interteeth cavity comparing to the area of the NV profile by the presence of a triangular protrusion was considered. For a saw with PV profile teeth, it is assumed that the radius of curvature of the rear surface is equal to twice the pitch of the tooth. In that case the decrease of space of the interteeth cavity of the toothed crown of the PV profile compared to the NV profile is taken into account by the presence of a circular sector. For toothed crowns of saws with NU, KU, and PU profiles, the increase in the area of interteeth cavities compared to the areas of interteeth cavities of NV, KV, PV profiles was taken into account by adding the area of the rectangle, equal to the multiplication of the cavity bottom length and the tooth height. Dependences for the saws tooth shape coefficient with toothed crowns of NV, NU, KV, KU, PV, and PU profiles are obtained as the ratio of the areas of the interdental cavities to the pitch of the teeth squared. To conclude, the obtained analytical dependences allow determining the areas of interdental cavities and shape coefficients of tooth quite accurately.

Keywords: saw; toothed crown; toothed crown profile; the interteeth cavity area.