

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КРОКУ ЗУБІВ ТА ПЛОЩІ ЗАПАДИН З ПОДАЧЕЮ НА ЗУБ ПИЛИ ПІД ЧАС РОЗПИЛЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ ТВЕРДИХ ЛИСТЯНИХ ПОРІД

З. С. СІРКО, кандидат технічних наук

О. С. ПРОТАСОВ, С. М. ОХРИМЕНКО, Є. А. СТАРИШ,

Д. П. ТОРЧИЛЕВСЬКИЙ, В. М. ГРИЦУН

Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

E-mail: z.sirko@ukr.net

Н. NICKEL

Altendorf GmbH & Co KG Maschinenbau

[https://doi.org/10.31548/dopovidi.1\(107\).2024.025](https://doi.org/10.31548/dopovidi.1(107).2024.025)

**Анотація.** У статті висвітлені питання, що пов'язані із розпилюванням деревини твердих листяних порід. Зокрема акцентується увага на взаємозв'язку кроку зубів та площі западини з подачею на зуб рамної пили. Зазначено, що деревина твердих листяних порід за своїми фізичними, хімічними, фізико-механічними та експлуатаційними властивостями суттєво відрізняється від деревини хвойних та м'яких листяних порід. Деревина твердих листяних порід має підвищені фізико-механічні показники та володіє красивою текстурою, що відносить її до цінних порід деревини. Наведені фізичні, хімічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості деревини твердих листяних порід. Показано, що дані властивості деревини суттєво впливають на оброблення її різанням та зумовлюють певні вимоги до конструктивних параметрів дереворізального інструменту. Приведені формули для розрахунку продуктивності лісопиляльних рам, технічної лінійної продуктивності рамної пили та продуктивності одного зуба пили. Зазначено, що подача на зуб рамної пили залежить від форми западини між зубами, її площі, а також від жорсткості зубів, їх гостроти та якості поверхні, яку отримують під час розпилювання. Наведені також формули для розрахунку подачі на один зуб пили, коефіцієнта напруженості западини, найбільшої висоти пропилю на середині довжини колоди, коефіцієнта ущільнення стружкою западини, площі западини та величини посилення колоди. Зазначено, що під час розпилювання деревини твердих листяних порід, величина посилення колоди залежить від кроку зубів та коефіцієнта форми западини. У процесі досліджень зроблено висновок, що величина подачі на зуб під час розпилювання деревини твердих листяних порід повинна бути нижча на 24–29 % у порівнянні з величиною подачі на зуб для сосни.

**Ключові слова:** деревина твердих листяних порід, розпилювання, крок зубів, площа западини, подача на зуб, взаємозв'язок, пила

### Постановка

### проблеми.

Деревина твердих листяних порід за своїми фізичними, хімічними, фізико-

механічними та експлуатаційними властивостями суттєво відрізняється від деревини хвойних та м'яких

Сірко З. С., Протасов О. С., Охріменко С. М., Стариш Є. А., Торчиловський Д. П., Грицун В. М., Nickel H. листяних порід (Сопушинський, Маєвський, Вінтонів, et al., 2007). До фізичних властивостей деревини відноситься текстура, колір, блиск, вага, щільність, вологість, гігроскопічність, усушка, розбухання, розтріскування, звуко-тепло-електропровідність та проникність (Вінтонів, Сопушинський, Тайшінгер, 2007). Деревина твердих листяних порід має підвищені фізико-механічні показники та володіє красивою текстурою – природним малюнком, який утворюється на гладкому зрізі деревини у результаті перетину волокон річних кілець та серцевинних променів. Такі властивості відносять деревину твердих листяних порід до цінних порід (Благородні породи дерева, 2018). До хімічних властивостей деревини відносяться целюлоза, лігнін, геміцелюлози та екстрактивні речовини. Фізичні та хімічні властивості деревини суттєво впливають на оброблення її різанням та зумовлюють певні вимоги до конструктивних параметрів дереворізального інструменту (Кірик, 1999). До основних експлуатаційних властивостей деревини твердих листяних порід відносять звукові, теплові та механічні властивості. Останні значно впливають на процес різання (більші сили та потужність на різання), що створює умови для

зміцнення зубів пил з метою покращення їх працездатності (Кірик, 2006). Взаємозв'язок між параметрами зубів пил – їхніми лінійними та кутовими характеристиками, впливає на продуктивність розпилювання деревини твердих листяних порід та на якість розпилювання і, таким чином, забезпечує найменші витрати на виробництво одиниці продукції.

**Мета дослідження** – визначити взаємозв'язок кроку зубів та площі западни з подачею на зуб рамної пили під час розпилювання деревини твердих листяних порід.

**Методика досліджень.** Для досліджень використовували рамні пили із легованої сталі марки 7ХНМФБ товщиною 2,2 мм. Розкроювання деревини твердих листяних порід проводили на середньопросвітній лісопиляльній рамі першого ряду моделі 2Р75. У роботі застосовані аналітичні методи досліджень, які ґрунтуються на співвідношенні постійних та змінних чинників, що мають місце під час розпилювання деревини твердих листяних порід.

**Результати досліджень.** Продуктивність лісопиляльних рам зазвичай визначають у кубічних метрах за формулою

$$Q = \frac{\Delta \cdot n}{1000} TK_{\partial} K_m \frac{q}{L_k}, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – подача колоди за подвійний хід пилкової рамки, мм;

Сірко З. С., Протасов О. С., Охріменко С. М., Стариш Є. А., Торчиловський Д. П., Григун В. М., Nickel H.

$n$  – частота обертів валу або число подвійних ходів пилкової рамки,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$T$  – тривалість робочої зміни,  $\text{хв}$ ;

$K_\partial$  – коефіцієнт використання робочого дня;

$K_m$  – коефіцієнт використання машинного часу;

$$Q = Q_n \cdot T_p \cdot P_\partial,$$

де  $Q_n$  – технічна лінійна продуктивність рамної пилки,  $\text{м}/\text{хв}$ ;

$T_p$  – дійсний робочий час лісопиляльної рами,  $\text{хв}$ ;

$$Q_{nm} = \Delta \cdot h \cdot n, \text{мм}^2/\text{хв},$$

де  $h$  – висота пропилу,  $\text{мм}$ .

$$Q_{nm} = \Delta \cdot h \cdot n \cdot K_{en}, \text{мм}^2/\text{хв}.$$

Аналітично визначаємо продуктивність одного зуба пилки

$$Q_3 = S_z \cdot h \cdot n,$$

де  $S_z$  – подача на один зуб пилки,  $\text{мм}$ .

Із формули (4) виходить, що продуктивність поєднується з

$$Q_n = \varphi(S_z, Z, K_{en}),$$

де  $Z$  – число зубів рамної пилки, які приймають участь у різанні за хід пилкової рамки.

Подача на один зуб рамної пилки залежить від форми западини між

$$S_z = \varphi(F_3, J_z, \rho, R_m).$$

Із врахуванням напруженості роботи западини та виразу  $F_3 = Q \cdot t^2$  отримаємо

$q$  – середній об'єм колоди,  $\text{м}^3$ ;

$L_k$  – довжина колоди,  $\text{м}$ .

Якщо позначити  $Q_n = \frac{\Delta \cdot n}{1000}$ ;

$$T_p = T \cdot K_\partial \cdot K_m; P_\partial = \frac{q}{L_k}, \text{отримаємо}$$

$$(2)$$

$P_\partial$  – множник, що характеризує параметри колод, які розпилюються,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Технічну продуктивність рамної пилки описують виразом

$$(3)$$

Із врахуванням втрат  $K_{en}$  з вини пилки, середня за зміну продуктивність пилки буде

$$(4)$$

інструментом через фактори  $\Delta$ ,  $S_z$ ,  $K_{en}$ , але зважаючи, що  $\Delta = S_z \cdot Z$  функціональний зв'язок можна виразити формулою

зубами, її площі ( $F_3$ ), а також від жорсткості зубів ( $J_z$ ), їх гостроти ( $\rho$ ) та якості поверхні, яку отримують під час розпилювання  $R_m$ , тобто

$$S_z = \frac{Q \cdot t^2}{\tau(h_{\max} - t)K_3}, \quad (5)$$

де  $Q$  – коефіцієнт форми западини;

$t$  – крок зубів, мм;

$h_{\max}$  – найбільша висота пропилу, мм;

$\tau$  – коефіцієнт напруженості западини, який відображає співвідношення між площею западини та боковою площею стружки і визначається відношенням

$$\tau = \alpha_{\text{ущ}} / \beta_{\text{зан}}$$

де  $\alpha_{\text{ущ}}$  – коефіцієнт ущільнення стружки під час її пресування у западині;

$\beta_{\text{зан}}$  – коефіцієнт заповнення западин зубів стружкою (тирсою);

$K_3$  – поплашковий коефіцієнт.

Коефіцієнт  $\beta_{\text{зан}}$  не залежить від породи деревини, але він залежить від форми западини та радіуса заокруглення її дна. За прийнятих форм западин  $h_{\max} < H - 50 \text{ мм}$ ;  $\beta_{\text{зан}} = 0,54$ . За  $h_{\max} \geq H - 50 \text{ мм}$  рекомендують застосовувати рамні

$$K_3 = (1,78 - 0,085h_{\max}) / H. \quad (7)$$

Найбільша висота пропилу на середині довжині колоди, що

розпилюється врозвал, враховують за допомогою виразу

$$h_{\max} = 10 \sqrt{(d_g + 0,5L_k C)^2 - B_n^2},$$

де  $d_g$  – діаметр колоди у вершинному торці, см;

$L_k$  – довжина колоди, м;

$C$  – збіг колоди, см/м, приймають за довідковими даними 16, 20, 22;

$B_n$  – відстань між двома середніми пилами у поставі, см, за наявності центральної пили  $B_n = 0$ .

Поправочний коефіцієнт  $K_3$  враховують тільки за умови, якщо його розрахункове значення більше одиниці.

Коефіцієнт ущільнення стружки залежить від породи деревини, точніше від її щільності. Якщо для сосни  $\alpha_{\text{ущ},c} = 0,45$ , то для твердих листяних порід деревини коефіцієнт ущільнення буде

$$\alpha_{\text{ущ},m} = \alpha_{\text{ущ},c} \cdot \rho_m / \rho_c,$$

Сірко З. С., Протасов О. С., Охріменко С. М., Стариш Є. А., Торчиловський Д. П., Грицун В. М., Nickel H.

де  $\rho_m$  і  $\rho_c$  – щільність вологої  
деревини відповідно твердих  
листяних порід та сосни.

Щільність  
(свіжезрубленої)  
деревини  
визначають за формулою

$$\rho = \rho_c (1 + 0,01W)(1 - 0,30 \cdot K_o),$$

де  $\rho_c$  – щільність деревини в  
абсолютно сухому стані, кг/м<sup>3</sup>;

$K_o$  – коефіцієнт об'ємної  
усушки, % / %.

$W$  – вологість свіжезрубленої  
деревини, %;

Використовуючи довідкові дані,  
визначаємо щільність вологої  
деревини дуба

$$\rho_d = 650(1 + 0,01 \cdot 70)(1 - 0,30 \cdot 0,50) = 939 \text{ кг/м}^3 \text{ - для дуба;}$$

$$\rho_b = 650(1 + 0,01 \cdot 64)(1 - 0,30 \cdot 0,56) = 887 \text{ кг/м}^3 \text{ - для бука;}$$

$$\rho_c = 450(1 + 0,01 \cdot 88)(1 - 0,30 \cdot 0,57) = 716 \text{ кг/м}^3 \text{ - для сосни.}$$

Відповідно, коефіцієнт  
ущільнення стружки, буде

$$\alpha_{уц,д} = 0,45 \frac{939}{716} = 0,59 \text{ - для дуба;}$$

$$\alpha_{уц,б} = 0,45 \frac{887}{716} = 0,56 \text{ - для бука.}$$

Якщо підставити значення  $\alpha_{уц}$  у  
формулу (6) та прийняти для якісного  
розпилювання  $\alpha_{зан} = 0,54$ , отримаємо

$$\tau = 0,59 / 0,54 = 1,09 \text{ - для дуба;}$$

$$\tau = 1,04 \text{ - для бука.}$$

Для розпилювання сосни з  
отриманням пиломатеріалів високої  
якості нормальним є  
 $\tau = 0,45 / 0,54 = 0,83$ .

Виходячи із формули (5) для  
однієї і тієї ж пили величина подачі на  
зуб для твердих порід деревини  
повинна бути нижча на 24-29 % у  
порівнянні з величиною подачі на зуб

для сосни, у зв'язку з підвищеним  
значенням коефіцієнта напруженості  
 $\tau$ . Отже, стає очевидною необхідність  
підвищення площі западни  
пропорціональне підвищенню  
коефіцієнта її напруженості.

Площа западни залежить від  
кроку зубів і приблизно визначається  
із виразу

$$t = \sqrt{S_z \cdot h_{\max} \cdot \tau \cdot K_z / Q}.$$

Розраховані за даною формулою  
значення кроку зубів для пиляння  
дуба (за  $\tau = 1,1$  і  $Q = 0,4$ ) в залежності

від подачі на зуб, висоти пропилу та  
коефіцієнта форми западни зубів,  
наведені у таблиці.

**Розрахункові значення кроку зубів рамної пилки**

| Подача на зуб, мм | Крок зубів, мм, за висоти пропилу |     |     |
|-------------------|-----------------------------------|-----|-----|
|                   | 150                               | 550 | 950 |
| 0,2               | 9                                 | 17  | 35  |
| 0,4               | 13                                | 24  | 49  |
| 0,6               | 16                                | 30  | 60  |
| 0,8               | 18                                | 36  | 69  |
| 1,0               | 20                                | 39  | 77  |
| 1,2               | 22                                | 43  | 85  |
| 1,4               | 24                                | 46  | 92  |
| 1,6               | 26                                | 49  | 96  |

Під час виконання розрахунків для висоти пропилу 950 мм приймають  $H=600$  мм. Тоді за формулою (7)  $K_z=2,3$ .

Результати розрахунків показують, що для пиляння

лісоматеріалів деревини твердих листяних порід є необхідність застосовувати пили з кроком зубів більше 40 мм.

Величина посилення колоди, яка характеризує продуктивність пилки, визначають за формулою

$$\Delta = \frac{Q \cdot t \cdot H}{\tau(h_{\max} - t)K_z},$$

із якої можна зазначити, що за інших рівних умов величина посилення залежить від кроку зубів та коефіцієнта форми западини.

**Висновки.**

1. Фізичні, хімічні та фізико-механічні властивості деревини суттєво впливають на оброблення її різанням і зумовлюють певні вимоги до конструктивних параметрів дереворізального інструменту.

**Список використаних джерел**

1. Сопушинський І.М., Маєвський В.О., Вінтонів І.С., Сопушинська М.П., Тайшингер А., Ангельстан П., et al. Зв'язок властивостей деревини та якості виробів з деревини. Науковий вісник НЛТУ, 2007, вип. 17.4. С. 104-107.

2. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшингер А. Деревинознавство:

2. Продуктивність

лісопиляльних рам поєднується з інструментом через величину посилення колоди, подачу на зуб рамної пилки та коефіцієнт втрат з вини пилки.

3. Величина подачі на зуб для твердих листяних порід деревини нижча на 24-29 % у порівнянні з величиною подачі на зуб для сосни

навчальний посібник. Львів: Апріорі, 2007. 312 с.

3. Благородні породи дерева. URL: [goodandgreenguides.com](http://goodandgreenguides.com) > blahorodni-porody-dereva. 2018 (дата звернення 25.10.2023).

4. Кірик М.Д. Інструмент для оброблення деревини та деревних матеріалів. Коломия: ТМЦ Коломийського

- Сірко З. С., Протасов О. С., Охріменко С. М., Стариш Є. А., Торчилевський Д. П., Грицун В. М., Nickel Н. механіко-технологічного коледжу, 1999. 190 с.
5. Кірик М.Д. Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів. Львів: ТЗОВ «Кольорове небо», 2006. 412 с.

### Reference

1. Sopushynskii I.M., Maevskii V.O., Vintoniv I.S., Sopushynska M.P., Taishynger A. Angelstan P., et al. Zvyazok vlastyivostei derevyny ta yakosti vyrobiv z derevyny. Naukovyi visnyk NLTU, 2007, vyp 17.4. S. 104-107.
2. Vintoniv I.S., Sopushynskii I.M., Taishynger A. Derevynoznavstvo: navchalnyi posibnyk. Lviv: Apriori, 2007. 312 s.
3. Blagorodni porody dereva. URL: [goodandgreenguides.com>blagorodni-porody-dereva](http://goodandgreenguides.com>blagorodni-porody-dereva). 2018 (data zvernennya 25.10.2023).
4. Kiryk M.D. (1999). Instrument dlya obroblyeniya derevyny ta derevnykh materialiv. Kolomyia: VMTS Kolomyiskogo mekhaniko-tekhnologichnogo koledzhu, 190.
5. Kiryk M.D. (2006). Mekhanichne obroblyeniya derevyny ta derevnykh materialiv. Lviv: TzOV «Kolorove nebo», 412.

## THE RELATIONSHIP OF THE PITCH OF THE TEETH AND THE AREA OF THE DEPTHS WITH THE FEED TO THE SAW TOOTH DURING CUTTING WOOD OF HARD LEAVED BREEDS

Z. Sirko, O. Protasov, S. Okhrimenko, E. Starysh,  
D. Torchilevskiy, V. Hrytsun, H. Nickel

**Abstract.** *The article covers issues related to the sawing of hard hardwoods.*

*In particular, attention is focused on the relationship between the pitch of the teeth and the area of the cavity with the feed per tooth of the frame saw.*

*It is noted that the physical, chemical, physico-mechanical and operational properties of hardwood differ significantly from coniferous and soft hardwood.*

*The wood of hard deciduous species has increased physical and mechanical indicators and has a beautiful texture, which makes it a valuable species of wood.*

*The physical, chemical, physico-mechanical and operational properties of hardwood are given.*

*It is shown that these properties of wood significantly affect its processing by cutting and determine certain requirements for the structural parameters of the wood-cutting tool.*

*Formulas are given for calculating the productivity of sawmill frames, the technical linear productivity of a frame saw and the productivity of one saw tooth.*

*It is noted that the feed per tooth of the frame saw depends on the shape of the cavity between the teeth, its area, as well as on the hardness of the teeth, their sharpness and the quality of the surface obtained during sawing.*

*Formulas for calculating the feed per saw tooth, the stress coefficient of the cavity, the largest height of the cut in the middle of the length of the log, the coefficient of chip compaction of the cavity, the area of the cavity and the reference value of the log are also given.*

*It is noted that when sawing hardwood, the size of the log reference depends on the pitch of the teeth and the coefficient of the cavity shape.*

*In the process of research, it was concluded that the amount of feed per tooth during sawing of hardwood should be lower by 24 - 29% compared to the amount of feed per tooth for pine.*

**Keywords:** *hardwood, sawing, tooth pitch, depths area, feed per tooth, relationship, saw*