

## METHOD OF POWER AND ENERGY PARAMETERS CALCULATION OF CHAINSAW SAWING PROCESS

M. Vrzheshch, A. Herasymchuk\*, L. Datsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

---

AGRICULTURAL MACHINES



### ABSTRACT

*The power and energy parameters of the sawing process with chainsaws are influenced by a number of factors that must be taken into account when calculating the sawing regimes. The technique of calculation of force, work, power of cutting at sawing of wood of various breeds by chain saws on variable diameters of a log and giving on a tooth is developed and realized. The methodology is based on the use of experimental data obtained in specialized laboratories and published in professional journals. The mathematical model of the methodology is based on the application of definitions, theorems and formulas of elementary algebra, trigonometry, as well as analytical geometry on the plane. The main provisions of the theory of cutting and machining of wood with chainsaws are used. The results of numerical experiments, which are presented in tabular and graphical forms, are presented and analyzed. It was found that the force and power of cutting during sawing with chainsaws is significantly affected by the type of wood, the amount of feed per tooth, as well as the width of the cut. The lowest cutting force and power is recorded for softwoods with a minimum sawing width, and the highest for hardwoods with a maximum cutting width. The total length of the tooth trajectories is significantly affected by the amount of feed on the tooth and, accordingly, the diameter of the log. The smallest value of the length of the trajectories was recorded for the log of the smallest diameter at the maximum feed per tooth, and the largest – for the log of the largest diameter at the minimum feed per tooth. Recommendations for the use of the proposed methodology in the educational process of forest specialties are also given.*

#### **Key words:**

cutting work,  
sawing,  
calculation of chain saws,  
cutting power,  
cutting force

#### **Article history:**

Received 21.10.2021

Accepted 08.12.2021

#### **\*Corresponding author:**

alexgop2017@gmail.com

---

DOI: 10.36910/acm.vi47.648

#### **To cite this article:**

Vrzheshch, M., Herasymchuk, A., & Datsiuk, L. (2021). Method of power and energy parameters calculation of chainsaw sawing process. *Agricultural Machines*, 47, 55-62. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.648>

УДК 630\*3(075.8)

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ПРОЦЕСУ ПИЛЯННЯ ЛАНЦЮГОВОЮ ПИЛКОЮ****М.В. Вржещ, О.П. Герасимчук\*, Л.М. Дацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**А  
С М М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

**АНОТАЦІЯ**

*На силові та енергетичні параметри процесу пиляння ланцюговими моторизованими пилками впливає низка факторів, які необхідно враховувати під час розрахунку режимів пиляння. Розроблено та реалізовано методика розрахунку зусилля, роботи, потужності різання при пилянні деревини різних порід ланцюговими пилками за змінних діаметрів пиловника та подачі на зубець. В основу методики покладено використання експериментальних даних, що одержані у спеціалізованих лабораторіях та опубліковані у фахових виданнях. Математична модель методики ґрунтується на застосуванні визначень, теорем та формул елементарної алгебри, тригонометрії, а також аналітичної геометрії на площині. Використано основні положення теорії різання та механічного оброблення деревини ланцюговими пилками. Представлено та проаналізовано результати числових експериментів, які подаються у табличній та графічній формах. Встановлено, що на силу та потужність різання протягом пиляння ланцюговими пилками суттєво впливає порода деревини, величина подачі на зубець, а також ширина пропилу. Найменша сила та потужність різання зафіксована для деревини м'яких порід за мінімальної ширини пропилу, а найбільша – для деревини твердих порід за максимальної ширини пропилу. На сумарну довжину траєкторій зубців суттєво впливає величина подачі на зубець та, відповідно, діаметр пиловника. Найменша величина довжини траєкторій зафіксована для пиловника найменшого діаметра за максимальної подачі на зубець, а найбільша – для пиловника найбільшого діаметра за мінімальної подачі на зубець. Подано також рекомендації щодо використання пропонованої методики в освітньому процесі спеціальностей лісової галузі.*

**Ключові слова:**

робота різання,  
пиляння,  
розрахунок ланцюгових пилок,  
потужність різання,  
зусилля різання

**Історія публікації:**

Отримано 21.10.2021

Затверджено 08.12.2021

**\*Автор для листування:**

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.648

**Цитувати цю статтю:**

Вржещ, М. В., Герасимчук, О. П., & Дацюк, Л. М. (2021). Методика розрахунку силових та енергетичних параметрів процесу пиляння ланцюговою пилкою. *Сільськогосподарські машини*, 47, 55-62. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.648>

## СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Викладання фахових дисциплін, що мають технічне спрямування, в освітньому процесі спеціальностей лісової галузі потребує удосконалення методичного забезпечення для лабораторних робіт та практичних занять, а також реалізації комп'ютерних програм у середовищах математичного моделювання MathCAD та Matlab для виконання науково-дослідних студентських робіт. Водночас, існує проблема забезпечення дороговартісним високоточним устаткуванням спеціалізованих лабораторій вищих навчальних закладів, тому застосування методик, які ґрунтуються на використанні результатів експериментальних досліджень, що одержані у провідних вітчизняних та зарубіжних науково-дослідних центрах, дає можливість підняти рівень як досліджень, так і викладання професійних дисциплін.

Методики розрахунку режимів пиляння ланцюговими моторизованими пилками розглянуті у наукових працях (*Вржещ & Куделя, 2014; Вржещ & Касян, 2018; Зима & Малюгін, 2006; Кірик, 2006; Шкіря, 2005*), де зазначається ціла низка факторів, що впливають на силові та енергетичні параметри процесу пиляння. Реалізація зазначених методик потребує використання результатів експериментальних досліджень, які одержують на сучасних випробувальних стендах (*Вржещ & Куделя, 2014; Вржещ & Касян, 2018*). Проведений аналіз літературних джерел підтверджує актуальність та важливість цієї проблематики.

**Мета дослідження** – розробити та реалізувати методику розрахунку зусилля, роботи та потужності різання під час пиляння масиву деревини ланцюговою пилкою, а також впровадити її до освітнього процесу вищих навчальних закладів для спеціальностей лісової галузі.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методика розрахунку силових та енергетичних параметрів процесу пиляння ланцюговою пилкою розроблена із використанням методів аналітичної геометрії та класичної механіки. Розрахунки за цією методикою реалізовані у комп'ютерному середовищі MathCAD. Графічні залежності

побудовані із використанням табличного процесора Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо пиловник круглої форми радіусом  $R$ , що знаходиться у режимі пиляння ланцюговою пилкою з кроком між різальними кромками різнойменних зубців (лівим та правим)  $t_z$  (**рис. 1**). Виберемо прямокутну систему координат  $xOy$ , початок якої співпадає з центром круга.

На розрахунковій схемі (**рис. 1**) прийняті позначення: горизонтальні лінії з інтервалом  $h_z$  до осі  $x$  відповідають нижній вітці ланцюга, що розташована на шині; вертикальні лінії з інтервалом  $t_z$  до осі  $y$  відповідають положенню зубців у попередньо зазначеній позиції ланцюга; лінії, що розташовані під кутом  $\varphi$  до додатного напрямку осі  $x$ , є траєкторіями руху різальних кромок різнойменних стругальних зубців ланцюга під час пиляння. Крім того, точки перетину ліній траєкторій зубців позначаються таким чином: з горизонтальними – двома арабськими цифрами через кому (наприклад, 3,1 – точка перетину траєкторії третього зубця з першою горизонтальною); з колом – двома цифрами через кому, причому перша цифра арабська, а друга – римська (наприклад, 1,II – точка перетину траєкторії першого зубця із дугою кола другого квадранту).

Кінематичні параметри режиму різання:  $V_x$  – швидкість руху ланцюга вздовж осі  $x$ ;  $V_y$  – швидкість руху ланцюга вздовж осі  $y$ ;  $V$  – швидкість різання. Причому, швидкість різання визначається за виразом:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2. \quad (1)$$

Відповідно, для тангенса кута нахилу траєкторій руху зубців ланцюга до додатного напрямку осі  $x$  матимемо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_y}{V_x}. \quad (2)$$

Подачу на різальний зубець ланцюга вздовж осі  $y$  визначимо за формулою:

$$h_z = \frac{S_z}{\cos \varphi}; \quad (3)$$

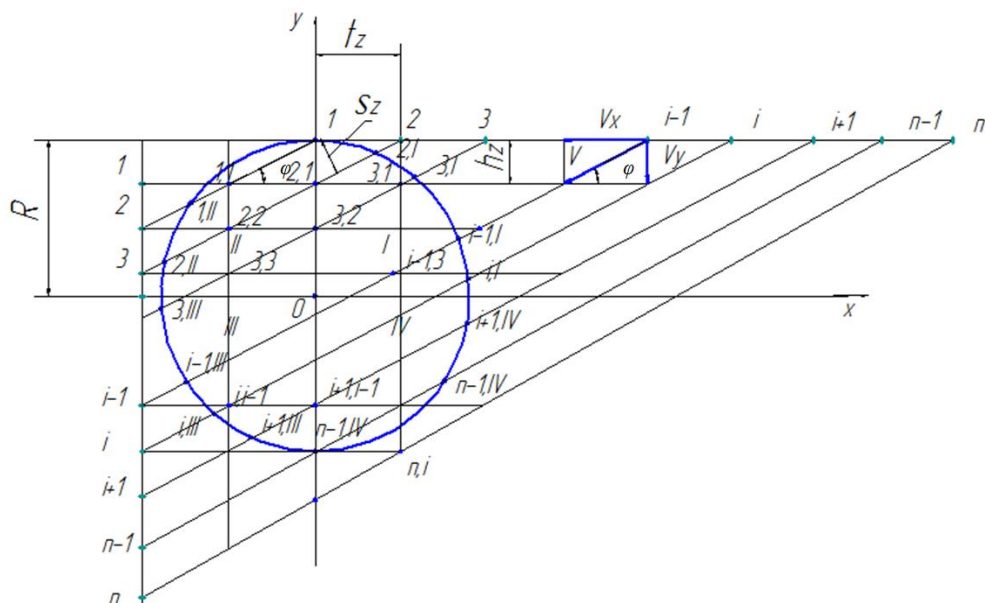


Рис. 1 – Розрахункова схема пиловника круглої форми

де  $S_z$  – подача на різальний зубець ланцюга (товщина стружки).

Таким чином, можна встановити кількість проходів різальними зубцями ланцюга вздовж поперечного перерізу пиловника протягом пиляння, тобто:

$$n = \frac{2R}{h_z}; \quad (4)$$

де  $n$  – кількість проходів, що заокруглюється до більшого значення (при цьому нижня різальна кромка зубця буде знаходитися поза межами деревини, а бічна – завершувати процес пиляння).

Рівняння ліній траєкторій зубців ланцюга відповідають прямим, які розташовані з нахилом під кутом  $\varphi$  до додатного напрямку осі  $x$ , а саме:

$$y_i = x_i \operatorname{tg} \varphi + R - (i-1)h_z; \quad (5)$$

де  $i = 1, \dots, n + 1$ .

Рівняння кола, що обмежує площу поперечного перерізу пиловника, з центром у початку системи координат  $xOy$  (рис. 1) має вигляд:

$$x_i^2 + y_i^2 = R^2; \quad (6)$$

де  $i = 1, \dots, n - 1$ .

Об'єднавши рівняння (5) та (6) у систему, одержимо розв'язок відносно координат точок перетину ліній траєкторій зубців із колом поперечного перерізу пиловника:

$$x_{i,j} = \frac{((i-1)h_z - R) \operatorname{tg} \varphi \pm \sqrt{((i-1)h_z - R)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi - [(R - (i-1)h_z)^2 - R^2](1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}; \quad (7)$$

$$y_{i,j} = \sqrt{R^2 - x_{i,j}^2}; \quad (8)$$

де  $i = 1, \dots, n - 1; j = I, II, III, IV$ .

Довжину хорд між точками, що мають координати (7) і (8), визначимо за формулами:

- квадранти I, II ( $i = 1, \dots, n - 1$ ):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,II} - x_{i,I})^2 + (y_{i,II} - y_{i,I})^2}; \quad (9)$$

- квадранти I, III ( $i = 1, \dots, n - 1$ ):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,III} - x_{i,I})^2 + (y_{i,III} - y_{i,I})^2}; \quad (10)$$

- квадранти III, IV ( $i = 1, \dots, n - 1$ ):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,III} - x_{i,IV})^2 + (y_{i,III} - y_{i,IV})^2}; \quad (11)$$

- квадранти  $I, IV$  ( $i = 1, \dots, n - 1$ ):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,IV} - x_{i,I})^2 + (y_{i,IV} - y_{i,I})^2}. \quad (12)$$

Об'єм деревини у пропилі, яка перетворена у тирсу, розраховується за формулою:

$$V_\delta = \pi R^2 b; \quad (13)$$

де  $b$  – ширина пропилу.

Питома робота різання згідно (Вржешч & Касян, 2018) визначається за формулою:

$$k = k_0 a_n a_w a_\rho a_B; \quad (14)$$

де  $k_0$  – значення основної питомої роботи різання;  $a_n, a_w, a_\rho, a_B$  – поправочні коефіцієнти, що враховують, відповідно, породу деревини, вологість деревини, затуплення ланцюгової пилки і стан деревини.

Робота різання визначається за формулою:

$$A = kV_\delta. \quad (15)$$

Зусилля  $P$  та потужність  $N$ , що необхідні для різання, визначаються за виразами:

$$P = \frac{A}{\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i}; \quad (16)$$

$$N = PV. \quad (17)$$

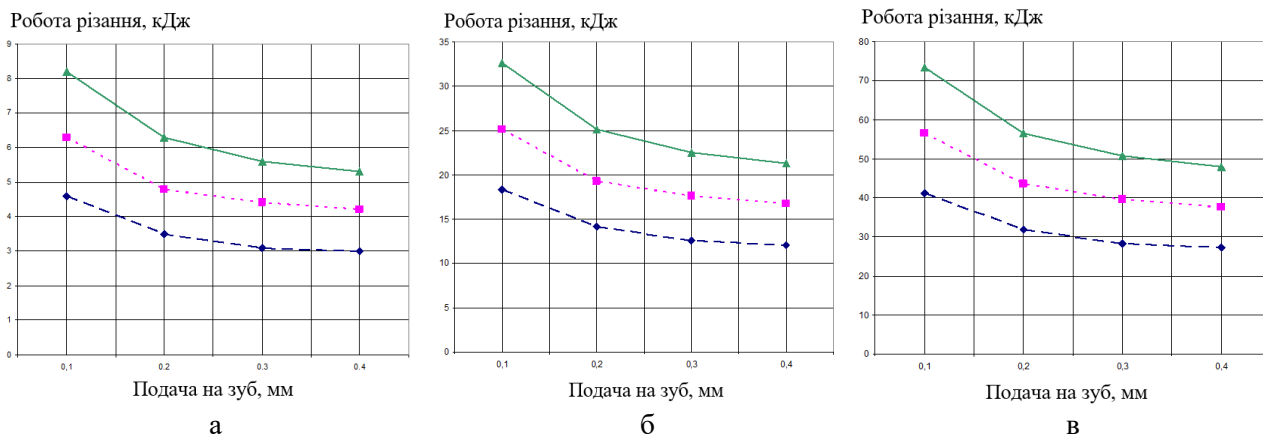
Запропонована методика розрахунку реалізована за допомогою комп'ютерної програми в середовищі MathCAD. Також виконані розрахунки для початкових даних, що подаються у **таблицях 1–2**. Результати розрахунків представлені на **рис. 2–4**, а також зведені у **таблицях 3–5**.

**Таблиця 1** – Початкові дані для розрахунку

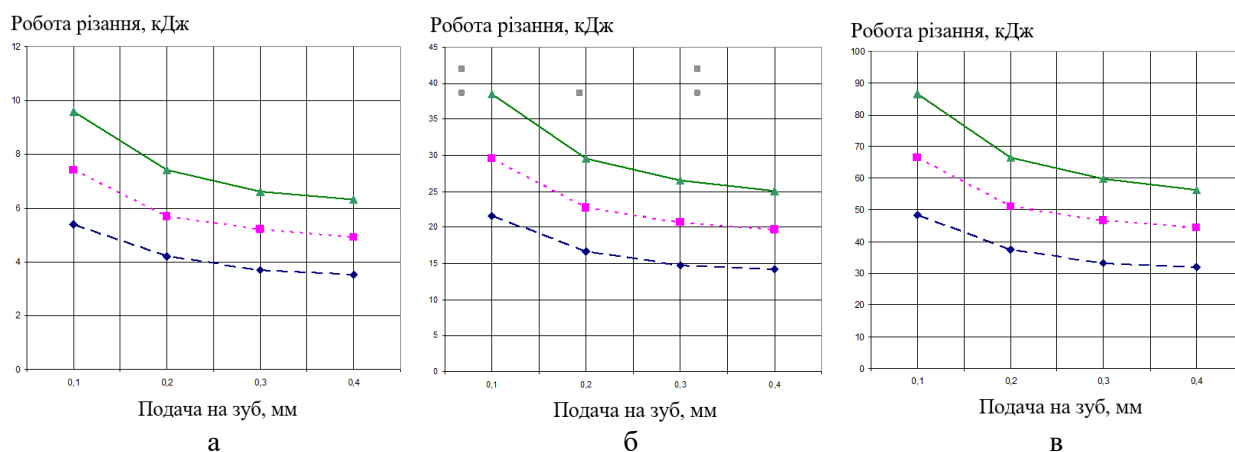
Параметри	Порода деревини		
	Осика	Сосна	Ясен
Діаметри пиловника	200 см; 400 см; 600 см		
Кінематичні характеристики	$V_x = 14$ м/с; $V_y = 0,04$ м/с		
Поправочні коефіцієнти (Шкіря, 2005)	$a_n = 0,85$ ; $a_w = a_\rho = a_B = 1$	$a_n = a_w = a_\rho = a_B = 1$	$a_n = 1,75$ ; $a_w = a_\rho = a_B = 1$

**Таблиця 2** – Значення основної питомої роботи різання  $k_0$  (для ланцюгових пилок), МДж/м<sup>3</sup> (Шкіря, 2005)

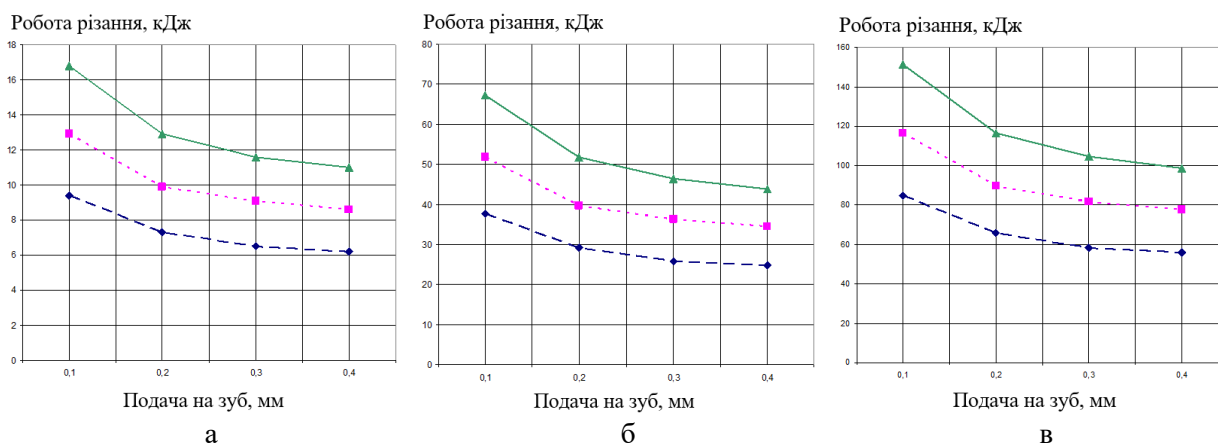
Ширина пропилу, мм	Подача на зуб $S_z$ , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
5	22,6	23,5	26,5	34,3
8	19,6	20,6	22,6	29,4
12	16,6	17,6	19,6	25,5



**Рис. 2** – Робота різання під час пиляння пиловника осики  
 (—◆—  $b = 5$  мм; - -■- -  $b = 8$  мм; —▲—  $b = 12$  мм):  
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см



**Рис. 3** – Робота різання під час пиляння пиловника сосни  
 (—◆—  $b = 5$  мм; - -■- -  $b = 8$  мм; —▲—  $b = 12$  мм):  
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см



**Рис. 4** – Робота різання під час пиляння пиловника ясеня  
 (—◆—  $b = 5$  мм; - -■- -  $b = 8$  мм; —▲—  $b = 12$  мм):  
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см

**Таблиця 3** – Сумарна довжина траекторій зубців ланцюгової пилки під час її роботи  $\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i$ , м

Діаметр пиловника, мм	Подача на зуб $S_z$ , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
200	78,5	104,7	157,1	314,1
400	314,1	418,9	628,3	1256,6
600	706,8	942,5	1413,7	2827,4

**Таблиця 4** – Значення сили різання  $P$  (для ланцюгових пилок), Н

Ширина пропили, мм	Подача на зуб $S_z$ , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
Осика				
5	38,4	29,9	22,5	14,6
8	53,3	42,0	30,7	19,9
12	67,7	53,9	39,9	26,0
Сосна				
5	45,2	35,2	26,5	17,1
8	62,7	49,4	36,2	23,5
12	79,7	63,4	47,0	30,6
Ясен				
5	79,1	61,7	46,4	30,0
8	109,8	86,5	63,3	41,2
12	139,4	110,9	82,3	53,5

**Таблиця 5** – Значення потужності  $N$ , що необхідна для різання (для ланцюгових пилок), Вт

Ширина пропили, мм	Подача на зуб $S_z$ , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
1	2	3	4	5
Осика				
5	537,9	419,5	315,4	204,1
8	746,4	588,3	430,3	279,9
12	948,3	754,0	559,8	364,1

1	2	3	4	5
Сосна				
5	632,9	493,5	371,0	240,1
8	878,2	692,2	506,3	329,3
12	1115,6	887,1	658,6	428,4
Ясен				
5	1107,5	863,6	649,3	420,2
8	1536,8	1211,3	885,9	576,2
12	1952,3	1552,4	1152,5	749,7

### ВИСНОВКИ

На силу і потужність різання ланцюговою пилкою суттєво впливає порода деревини, величина подачі на зубець, а також ширина пропилу. Найменші сила та потужність різання зафіксовані для деревини м'яких порід (осика:  $P = 14,6$  Н;  $N = 204,1$  Вт) за ширини пропилу 5 мм, а найбільші – для деревини твердих порід (ясен:  $P = 139,4$  Н;  $N = 1952,3$  Вт) за ширини пропилу 12 мм.

На сумарну довжина траєкторій зубців суттєво впливає величина подачі на зубець та діаметр пиловника. Найменше значення цього параметра зафіксоване для пиловника, що має діаметр 200 мм, за подачі на зубець 0,4 мм ( $\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i = 78,5$  м), а найбільше – для пиловника діаметром 600 мм за подачі на зубець 0,1 мм ( $\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i = 2827,4$  м).

Величина роботи, що затрачається на різання, зменшується, якщо збільшується подача на зубець ланцюгової пилки, причому як для м'яких, так і для твердих порід деревини. При зростанні діаметра пиловника та ширини пропилу величина роботи, що затрачається на різання, збільшується.

Розроблена та реалізована для масиву деревини методика розрахунку зусилля, роботи та потужності різання ланцюговою пилкою може бути впроваджена до освітнього процесу спеціальностей лісової галузі.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Вржещ, М. В., & Куделя, Ю. П. (2014). Дослідження енергетичних показників процесів пиляння ланцюговими бензиномоторними пилками (*Research of energy indicators of sawing processes with chainsaws*). *Сільськогосподарські машини*, 28, 3-6.
- Вржещ, М. В., & Касян, О. М. (2018). Дослідження економічності процесу пиляння деревини ланцюговими моторизованими пилками (*Study of the cost-effectiveness of the process of sawing wood with chainsaws*). *Сільськогосподарські машини*, 41, 18-28.
- Зима, І. М., & Малюгін, Т. Т. (2006). *Механізація лісгосподарських робіт (Mechanization of forestry works)*. Київ: Фірма «Інкос».
- Кірик, М. Д. (2006). *Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів (Machining of wood and wood materials)*. Львів: КН.
- Шкіря, Т. (2005). *Машини та обладнання лісосічних і лісоскладських робіт (Машини та обладнання лісосічних і лісоскладських робіт)*. Львів: Тріада Плюс.